This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

E. CADIAT

MANUEL PRATIQUE DE L'ÉLECTRICIEN

PARIS
CH. BÉRANGER EDITEUR

Digitized by Google

University of Wisconsin
LIBRARY
Class TPD
Book .C11

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

MANUEL PRATIQUE
DE
L'ÉLECTRICIEN

Digitized by Google

MACON, PROTAT FRÈRES, IMPRIMEURS.

Digitized by Google

MANUEL PRATIQUE

DE

L'ÉLECTRICIEN

GUIDE

POUR LE MONTAGE ET L'ENTRETIEN

DES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES

PAR

ERNEST ÇADIAT

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES

Troisième Édition

PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, BAUDRY ET Cie, ÉDITEURS

15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15

MAISON A LIÈGE, RUE DES DOMINICAINS, 7

1897

Tous droits réservés.

Digitized by Google

Digitized by Google

55187
OCT 9 1900
TPD
.C11

PRÉFACE

Au moment de publier cette troisième édition de notre *Manuel pratique de l'Électricien*, nous croyons qu'il est utile de rappeler en quelques mots le programme qui nous a guidé. Notre but a été de résumer le plus succinctement possible les connaissances indispensables pour le montage et l'entretien des installations électriques. Les travaux de cette nature nécessitent des recherches, quelquefois fort difficiles, au milieu des ouvrages et des mémoires en nombre considérable qui ont été publiés sur ces sujets. Nous avons voulu éviter à nos lecteurs cette tâche toujours pénible et venir en aide à leurs souvenirs.

Un pareil programme ne comportait pas l'étude approfondie de la théorie des phénomènes électriques. Nous ne pouvions que rappeler sommairement les lois qui servent de base à cette science. Pour la même raison, nous ne nous sommes pas livré à la description détaillée des appareils et des machines ; nous en avons exposé seulement les principes à l'aide de figures schématiques.

Nous avons montré la marche à suivre pour résoudre les différents problèmes qui se présentent dans une installation, et, afin d'épargner des tâtonnements à

Digitized by Google

nos lecteurs, nous avons eu soin d'accompagner toujours les démonstrations théoriques par des exemples numériques. Chaque fois que nous l'avons pu, nous nous sommes appuyé sur des chiffres et des résultats d'expérience; des tables placées à la fin du volume contiennent à cet égard de précieux renseignements. Enfin, nous avons fait tout notre possible pour suivre la science électrique dans les progrès qu'elle a accomplis depuis la publication de notre seconde édition. C'est ainsi qu'un chapitre spécial a été consacré à l'étude des tramways électriques, dont il n'était pas question dans les précédents ouvrages.

Digitized by Google

ABRÉVIATIONS

Pour éviter toute cause d'erreur, nous adopterons, dans tout le cours de cet ouvrage, les abréviations suivantes :

LONGUEURS	SURFACES	VOLUMES	POIDS
Mètre *m*	Mèt. carré m^2	Mètre cube. m^3	Kilogramme *Kg*
Décimètre *dm*	Décim. » dm^2	Décim. » dm^3	Gramme *gr*
Centimèt. *cm*	Centim. » cm^2	Centim. » cm^3	Décigramme *dg*
Millimèt. *mm*	Millim. » mm^2	Millim. » mm^3	Centigram. *cg*
Kilomèt. *km*	Kilom. » km^2		Milligram. *mg*

Kilogrammètre	*Kgm*	Ampère-heure	*amp-h*
Calorie	*cal*	Watt-heure	*wat-h*
Litre	*lit*	Kilowatt	*Kw*
Franc	*fr*	Cheval	*chev*
Volt	*v*	Cheval-heure	*chev-h*
Ampère	*amp*	Atmosphère	*atm*

Digitized by Google

Digitized by Google

MANUEL PRATIQUE
DE L'ÉLECTRICIEN

PREMIÈRE PARTIE

CHAPITRE PREMIER

PRINCIPES GÉNÉRAUX. — DÉFINITIONS. — UNITÉS. — MESURES.

§ 1. **Courant électrique.** — Un courant électrique peut être produit par des causes très diverses. Ainsi, quand on répète l'expérience de Volta, qu'on place dans de l'eau acidulée par de l'acide sulfurique une plaque de zinc et une plaque de cuivre séparées l'une de l'autre dans le liquide, et réunies extérieurement par un fil métallique, ce fil est traversé par un courant; on peut le constater en approchant du fil une aiguille aimantée qui éprouve une déviation.

Si aux deux extrémités d'une barre d'antimoine on soude une barre de bismuth, et qu'on chauffe une des soudures seule, on remarque encore un courant dans le circuit formé par la réunion des deux métaux.

Enfin, étant donné un fil métallique formant un circuit

Digitized by Google

fermé, si l'on approche ou qu'on éloigne un aimant de ce fil, on produit dans ce dernier un courant. On voit donc que la production du courant peut être due à un phénomène chimique, thermique ou dynamique. La création d'un courant exige toujours une dépense de chaleur ou de travail.

Le courant a, dans tous les cas, un sens bien déterminé, que l'on peut reconnaître, comme nous le verrons, avec la boussole.

Le courant est dû à une force qu'on appelle *force électromotrice*. En prenant comme exemples les phénomènes chimiques, on conçoit facilement que cette force varie suivant les affinités mises en présence. On comprend également que la quantité d'électricité mise en mouvement dépend de la grandeur des surfaces métalliques soumises à l'action de l'acide.

L'expérience a constaté que les différents circuits se laissent traverser plus ou moins facilement par un courant, suivant la nature du métal qui les compose et suivant leur section. Le conducteur offre donc au courant une certaine *résistance*.

Enfin, le débit d'électricité est le même en tous les points du circuit.

Une comparaison nous permettra de rendre ces faits plus compréhensibles. Supposons une conduite d'eau A B C (fig. 1). Si en A nous exerçons une pression P avec un piston, l'eau s'élève dans le tube. La hauteur à laquelle monte le liquide dépend de la force P. La quantité déplacée est proportionnelle à la section du piston. L'eau éprouve une certaine résistance due aux frottements, et tout le travail dépensé en A ne se retrouve pas en C; une partie se perd en route. Enfin, la quantité d'eau qui s'écoule en C est la même que celle qui passe en A.

Le mouvement du liquide, au lieu d'être produit par

Digitized by Google

l'action d'un piston peut être dû à une différence de niveau. Supposons ce cas (fig. 2), les deux bouts du tuyau se trouvent à des niveaux H et *h*. L'écoulement est produit

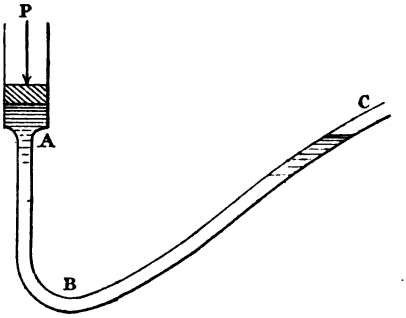


Fig. 1.

par leur différence (H-*h*). Il en sera de même dans un circuit électrique. Appelons *potentiel* le niveau électrique

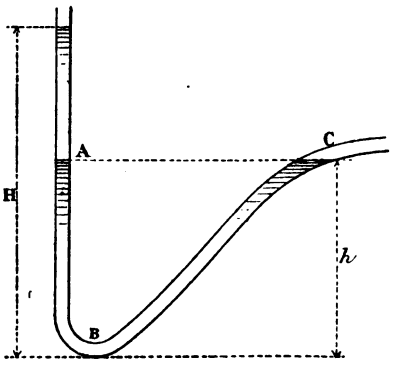


Fig. 2.

de deux points de la ligne, le courant entre ces points sera produit par la différence des potentiels.

La force électromotrice est une notion tout à fait

Digitized by Google

abstraite. Pour une pile, par exemple, c'est la force *théorique* produite par les affinités des corps mis en présence. Dans la pratique, on n'a jamais à compter avec ce facteur; car le liquide et les métaux de la pile offrent une résistance qui diminue cette force. La seule force disponible est celle qui existe aux bornes de la pile, c'est-à-dire la *différence de potentiel* de ces bornes. Il en est de même dans une dynamo. A cause de la résistance des bobines, la force réelle d'une machine n'est pas celle qu'indique la théorie, c'est celle qu'on trouve aux bornes.

En reprenant l'exemple déjà cité, la force P qui agit sur le piston (fig. 1) n'est pas en réalité la force disponible. Il faut en retrancher le frottement de l'eau et celui du piston dans la pompe. La force disponible est la pression qu'on trouve en A.

Pour simplifier, nous emploierons souvent le terme de *tension* pour exprimer une différence de potentiel. Ainsi, l'on dira qu'une machine possède entre ses bornes une certaine tension, au lieu de dire qu'elle a entre ses bornes une certaine différence de potentiel.

On nomme *intensité* d'un courant la quantité d'électricité qui passe par seconde. Appelons I l'intensité du courant, et Q la quantité d'électricité débitée dans un temps t, on a :

$$Q = I\,t.$$

C'est-à-dire que la quantité d'électricité fournie dans un temps t est proportionnelle à l'intensité du courant et au temps. Il en est de même dans une conduite d'eau, où le volume d'eau engendré est proportionnel au débit par seconde et au temps.

§ 2. **Loi de Ohm.** — *Dans un circuit fermé, l'intensité d'un courant est proportionnelle à la force électromotrice et inversement proportionnelle à la résistance du circuit.*

Digitized by Google

Soit I l'intensité, E la force électromotrice, R la résistance :

$$I = \frac{E}{R}.$$

L'intensité I est la même dans tous les points du circuit :

On a souvent à faire intervenir dans les calculs la résistance r d'une pile ou d'une machine faisant partie du circuit; R étant la résistance du circuit seul, la formule devient :

$$I = \frac{E}{R + r}.$$

§ 3. **Circuits dérivés.** — Si deux points M, N d'un circuit (fig. 3) sont réunis par plusieurs conducteurs M B N,

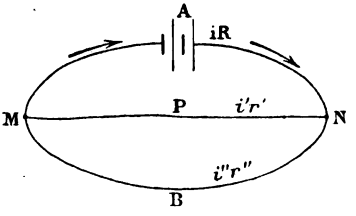


Fig. 3.

M P N, ceux-ci se nomment *dérivations*. Les relations existant entre les éléments d'un circuit comprenant deux dérivations sont données par les formules suivantes :

I intensité du courant principal,
i', i'' intensités dans chaque dérivation,
r', r'' résistances de chaque dérivation,
R résistance du circuit principal M A N,
ρ résistance présentée par l'ensemble des dérivations,
E force électromotrice.

Digitized by Google

$$I = \frac{E}{R + \rho}$$

$$\rho = \frac{r' r''}{r' + r''}$$

$$i' = \frac{E r''}{R (r' + r'') + r' r''}$$

$$i'' = \frac{E r'}{R (r' + r'') + r' r''}.$$

Soit d la différence de potentiel entre les points de dérivation M, N; la loi de Ohm nous donne :

$$i' = \frac{d}{r'}$$

$$i'' = \frac{d}{r''}.$$

Enfin, les intensités dans chaque dérivation sont inversement proportionnelles aux résistances de ces dérivations, on a :

$$\frac{i'}{i''} = \frac{r''}{r'}$$

et :

$$\frac{i'}{I} = \frac{r''}{r' + r''}$$

$$\frac{i''}{I} = \frac{r'}{r' + r''}.$$

§ 4. **Résistance spécifique. Conductibilité.** — L'expérience prouve que la *résistance d'un conducteur est proportionnelle à sa longueur et inversement proportionnelle à sa section.* Elle dépend aussi de la nature du corps. On appelle *résistance spécifique* d'une substance la résistance que présente entre deux faces opposées un cube de cette substance ayant pour côté l'unité de longueur, c'est-à-dire un centimètre (§ 8). Soit R la résistance d'un conducteur, l sa longueur, s sa section et ρ sa résistance spécifique.

$$R = \rho \frac{l}{s}. \qquad (a)$$

Digitized by Google

La *conductibilité* d'un corps est l'inverse de sa résistance spécifique; en la désignant par c, on a :

$$c = \frac{1}{\rho}.$$

Les métaux présentent des conductibilités fort différentes (voir la table, Appendice). La pureté d'un métal a une grande influence sur sa conductibilité; la résistance spécifique d'un alliage est bien supérieure à celle des métaux entrant dans sa composition; c'est pourquoi l'on cherche toujours à se procurer des métaux purs pour en faire des conducteurs. L'état moléculaire et la température influent aussi sur la conductibilité. Les métaux recuits sont plus conducteurs que les métaux écrouis. La résistance spécifique, sauf dans quelques alliages, croît avec la température (voir la table).

Les corps non métalliques offrent en général une grande résistance. Le verre, la porcelaine, le papier, le caoutchouc, la gutta-percha sont très mauvais conducteurs. Aussi les emploie-t-on comme *isolants*.

La conductibilité des dissolutions salines varie avec le degré de concentration. Généralement, la résistance diminue quand la concentration augmente; elle diminue aussi avec la température.

§ 5. **Loi de Joule.** — Le passage d'un courant à travers un conducteur élève la température de celui-ci. La loi de ce phénomène a été donnée par Joule :

La quantité de chaleur dégagée par le passage d'un courant à travers un conducteur est proportionnelle à la résistance de ce conducteur, au carré de l'intensité et au temps pendant lequel le courant passe.

Soit q cette quantité de chaleur, R la résistance du conducteur, I l'intensité, t le temps, on a :

Digitized by Google

$$q = \frac{I}{A} R I^2 t$$

A est l'équivalent mécanique de la chaleur.

Nous avons vu que

$$I = \frac{E}{R}.$$

La loi de Joule peut donc s'écrire sous la forme :

$$q = \frac{I}{A} E I t.$$

Quand I est exprimé en Ampères, E en Volts, R en Ohms, la quantité de chaleur, évaluée en calories (*gramme-degré*), est :

$$q = \frac{I^2 R t}{9{,}81 \times 0{,}424},$$

$$q = I^2 R t \times 0{,}24 \text{ calories } (\textit{gramme degré}).$$

La chaleur engendrée par le passage d'un courant peut être assez intense pour porter le conducteur à l'incandescence. Cette propriété a été mise à profit, comme nous le verrons plus tard, pour la construction des lampes. Elle est utilisée aussi dans les fours électriques, où la chaleur produite par le courant est employée à fondre des matières que l'on considérait jusqu'à présent comme absolument réfractaires.

§ 6. **Travail, Puissance d'un courant**[1]. — *La puissance* P *transformée en chaleur par un courant traversant un conducteur est égale au produit de la résistance par le carré de l'intensité :*

$$P = R I^2.$$

1. La puissance est, par définition, le travail fourni pendant l'unité de temps, la seconde. Le mot *Énergie* est synonyme de travail.

Digitized by Google

On peut encore l'exprimer autrement :

La puissance transformée en chaleur par un courant traversant un conducteur est égale au produit de la différence de potentiel par l'intensité :

$$P = E\,I.$$

Pour un temps t, le travail T sera :

$$T = P\,t$$
$$T = R\,I^2\,t$$
$$T = E\,I\,t.$$

§ 7. **Charge et capacité électriques.** — Quand un corps conducteur est mis en contact avec une source d'électricité, il se produit dans ce corps un courant qui dure jusqu'au moment où son potentiel devient égal à celui de la source. Ce corps a donc reçu une *charge* d'électricité. Cette charge dépend de la nature et de la forme du corps. La *capacité électrique* d'un corps est la quantité d'électricité qu'il faut lui fournir pour élever son potentiel d'une unité ; de même que sa capacité calorifique est la quantité de chaleur qu'il faut lui fournir pour augmenter sa température d'un degré.

La formule suivante relie la capacité électrique C, la charge Q et le potentiel E :

$$C = \frac{Q}{E}.$$

§ 8. **Unités électriques.** — Pour les calculs électriques, on a dû créer des unités spéciales. La valeur de ces unités a été déterminée une fois pour toutes, et maintenant elles sont adoptées dans tous les calculs.

Les unités électriques se rattachent à un système général dit d'*unités absolues*, dans lequel l'unité de longueur est le centimètre ; l'unité de temps, la seconde ; l'unité de

Digitized by Google

masse, le gramme. On le désigne par *Système centimètre-gramme-seconde*, ou C G S.

L'unité de résistance est l'*Ohm*. C'est à peu près la résistance d'un fil de cuivre pur ayant 1 millimètre de diamètre et 48 mètres de longueur. C'est la résistance d'un fil de fer ayant 4 millimètres de diamètre et 100 mètres de long.

L'unité d'intensité est l'*Ampère*. Un courant d'un ampère électrolyse par seconde 1,11888 milligramme d'argent.

L'unité de quantité est le *Coulomb*. C'est la quantité fournie pendant une seconde, quand l'intensité est d'un ampère. Ampère et coulomb par seconde ont donc la même signification.

L'unité de force électromotrice est le *Volt*, c'est la force nécessaire pour produire un ampère à travers une résistance d'un volt. La pile Daniell a une force d'environ 1 volt.

L'*Ampère-heure* est la quantité d'électricité qui passe pendant 1 heure quand l'intensité est 1 ampère. Un ampère-heure vaut 3600 coulombs.

L'unité de capacité est le *Farad*. C'est la capacité qui renferme un coulomb d'électricité avec une force électromotrice de 1 volt.

Quand ces unités sont trop grandes ou trop petites par rapport aux quantités mesurées, on les fait précéder des préfixes suivants :

Méga	signifie	1 000 000	de fois l'unité.
Myria	—	10 000	—
Milli	—	$\frac{1}{1\ 000}$	—
Micro	—	$\frac{1}{1\ 000\ 000}$	—

Ainsi un microhm représente $\frac{1}{1\ 000\ 000}$ ohm

Digitized by Google

Nous avons vu (§ 6) que la puissance électrique s'exprime par le produit $E \times I$.

L'unité pratique de puissance électrique est le *Watt*. C'est la puissance d'un courant dont l'intensité est 1 ampère pour une différence de potentiel de 1 volt.

On emploie souvent dans le calcul des machines le *Kilowatt*.

$$1 \text{ kilowatt} = 1000 \text{ watts.}$$

Expression du travail électrique en kilogrammètres. — L'unité pratique adoptée en mécanique pour le travail est le *Kilogrammètre*; c'est le travail fourni par un poids d'un kilogramme parcourant une hauteur d'un mètre. Or, nous venons de voir que la puissance électrique s'exprime en watts par le produit de la différence de potentiel et de l'intensité.

$$P = EI.$$

Il est utile de pouvoir traduire en kilogrammètres le travail exprimé en watts. Cette relation est donnée par la règle suivante :

Pour traduire en kilogrammètres la puissance d'un courant exprimée en watts, il faut diviser le nombre de watts par l'accélération de la pesanteur (9, 81).

Soit K le nombre de kilogrammètres cherché dans l'unité de temps.

$$\frac{P}{9,81} = K$$

$$\frac{E\,I}{9,81} = K \text{ kilogrammètres.}$$

Pour un temps t exprimé en secondes, le travail en kilogrammètres T est donné par

$$T = \frac{E\,I}{9,81} \times t.$$

Digitized by Google

Exemple. — Quel est le nombre de kilogrammètres produit en 2 minutes par un courant ayant 100 volts et 25 ampères ?

$$T = \frac{100 \times 25}{9{,}81} \times 120 = 30\,000 \text{ kgm.}$$

§ 9. **Unités diverses.** — Le *Cheval-vapeur* représente 75 kilogrammètres par seconde. Le cheval-heure vaut $75 \times 3\,600 = 270\,000$ kilogrammètres.

La *Calorie* est la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré centigrade la température d'un kilogramme d'eau. On adopte quelquefois une unité 1000 fois plus petite, c'est-à-dire la quantité de chaleur nécessaire pour élever 1 gr. d'eau de 1°. Quand nous emploierons cette dernière unité, nous la désignerons par la dénomination *gramme-degré* ou gr. d., pour éviter toute confusion.

L'*Équivalent mécanique de la chaleur* est la quantité de travail qu'il faut dépenser pour produire une calorie; il est égal à 424 kilogrammètres. Réciproquement, en dépensant 1 calorie on développe 424 kilogrammètres.

Unités de lumière. — L'unité de lumière ordinairement adoptée est le *Bec carcel*; il équivaut à un bec de gaz ordinaire consommant 125 à 140 litres à l'heure.

On emploie quelquefois comme unité la *Bougie*; cette quantité n'est pas parfaitement définie; le bec carcel équivaut environ à 8 bougies.

La Conférence internationale a adopté, en 1884, l'unité proposée par M. Violle; c'est la quantité de lumière totale émise par un centimètre carré de platine à la température de solidification. L'intensité lumineuse de cet étalon étant 1, celle du bec carcel est $\frac{1}{2{,}08}$. Comme cette unité était trop grande pour la pratique, le congrès des électriciens

Digitized by Google

de 1889 a adopté la *Bougie décimale* égale à $\frac{1}{20}$ de l'unité de M. Violle.

Il résulte de là que la bougie décimale équivaut à $\frac{1}{10}$ de carcel.

L'étalon de platine n'est pas commode pour des expériences industrielles. Aussi est-il peu employé en pratique, et l'on continue généralement à se servir comme étalons du bec carcel et de la bougie. Toutefois, pour avoir des résultats comparables entre eux, on doit prendre la valeur de ces derniers en fonction de l'unité admise par la Conférence.

Éclairement. — La comparaison des intensités lumineuses de deux foyers ne donne pas l'expression de leur valeur au point de vue de l'éclairage. En effet, la question qu'on se pose dans tout problème d'éclairage est de produire en chaque point d'un espace donné un *éclairement* suffisant.

L'éclairement produit en un point est le quotient de l'intensité lumineuse du foyer par le carré de la distance du foyer au point éclairé. On a été ainsi conduit à créer une unité d'éclairement ; c'est la *Bougie-mètre* ou le *Carcel-mètre*, c'est-à-dire l'éclairement produit sur une surface par une bougie ou un carcel placé à une distance d'un mètre.

Il faut 50 bougies-mètre pour qu'on puisse, en se plaçant à 1 mètre de la source lumineuse, lire un journal comme en plein jour.

Un bon éclairage doit donner un éclairement de 30 bougies-mètre dans tous les points de la pièce éclairée.

§ 10. Disposition d'un circuit. — Pour produire un courant, il est nécessaire qne le circuit ne présente aucune solution de continuité. On dit alors qu'il est *fermé*. Si le

Digitized by Google

circuit est interrompu en un point, on dit qu'il est *ouvert*; alors le courant cesse. Étant donnée une pile E (fig. 4), on admet que le courant partant du cuivre traverse le circuit ABC et arrive au zinc, puis il traverse la pile. Le point de départ se nomme *pôle positif* +; celui d'arrivée, *pôle négatif* —.

Sur le circuit on relie les appareils que l'on veut actionner. Ces appareils portent 2 bornes auxquelles on attache chacun des fils venant de la pile. L'appareil sert lui-même à fermer le circuit. La figure 4 nous montre une sonnerie S disposée de cette façon.

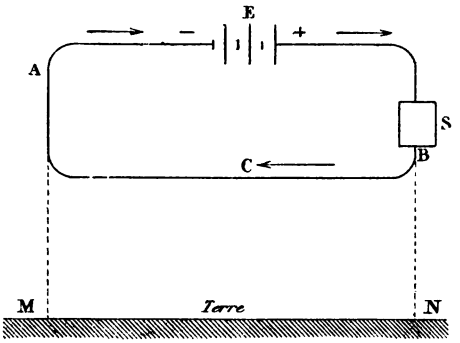


Fig. 4.

Terre. — On peut, dans quelques cas, éviter la nécessité du fil de retour C, en reliant chacun des points A et B à la terre, comme l'indiquent les deux lignes pointillées AM, BN. La terre, dans ce cas, sert à absorber l'électricité produite aux deux pôles. Cette considération est importante, parce qu'elle permet de réaliser une économie sur la longueur du fil. Pour diminuer la résistance que le sol présente à la pénétration du courant, on établit la communication entre le sol et la ligne au moyen d'une plaque métal-

Digitized by Google

lique à grande surface fixée à l'extrémité de la ligne et placée dans un terrain humide. Dans les villes on peut parfois se dispenser de cette installation en reliant simplement la ligne à une conduite d'eau ou de gaz.

Il arrive souvent que sur les 2 conducteurs A, B (fig 5),

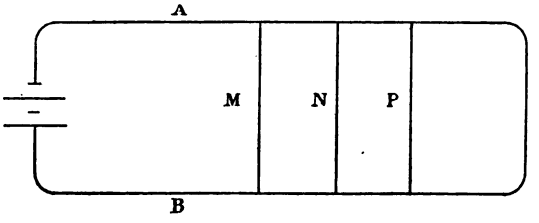


Fig. 5.

on attache des conducteurs dérivés M, N, P. Le courant se distribue entre ces divers fils, d'après les lois que nous avons exposées sur la dérivation (§ 3). Suivant le diamètre

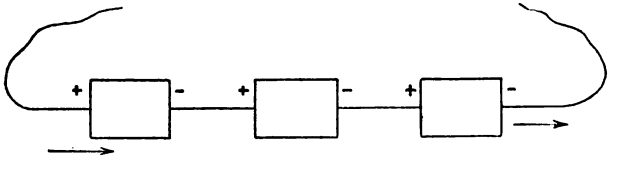


Fig. 6.

des fils de dérivation, on peut régler à volonté l'intensité dans chacun des conducteurs.

Étant donnés plusieurs appareils, piles, lampes, etc., on peut les grouper de différentes façons sur un même circuit. Quand les pôles de noms contraires sont réunis entre eux (fig. 6), les appareils sont associés en *tension* ou en *série*. Si tous les pôles de même nom sont reliés ensemble sur

Digitized by Google

le même fil (fig. 7), les appareils sont associés en *quantité* ou en *dérivation*. On peut combiner ces deux dispositions entre elles. La figure 8 montre 6 appareils montés, 2 en tension et 3 en quantité.

Shunt. Court-circuit. — Quand un appareil est disposé

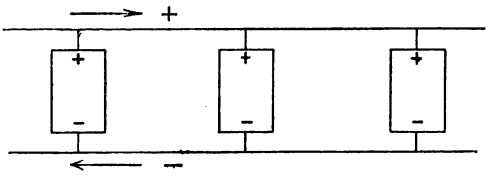


Fig. 7.

en série dans un circuit, on peut avoir quelquefois besoin de diminuer le courant qui traverse cet appareil; on établit

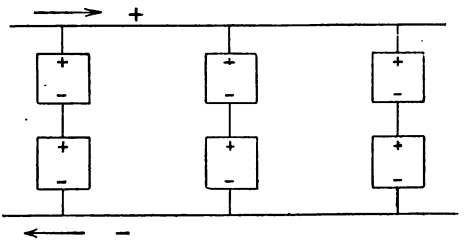


Fig. 8.

alors entre ses bornes une dérivation qui détourne une partie du courant. Ainsi, supposons que dans la fig. 4, S représente une lampe, et que le courant total soit trop intense pour cet appareil; on réunit alors ses 2 bornes par une dérivation ou *shunt*, autrement dit, on *shunte* la lampe. Si ce shunt présente une résistance extrêmement faible par rapport à celle de l'appareil, presque tout le courant passe

Digitized by Google

par là; on dit alors que l'appareil est en *court-circuit*. D'après la loi de Joule, la quantité de chaleur produite dans le shunt peut être très grande et amener l'inflammation des corps voisins. Ce sont des accidents de cette nature qui se produisent lorsque dans une installation deux parties destinées à être isolées sont mises accidentellement en contact l'une de l'autre.

Digitized by Google

CHAPITRE II

PHÉNOMÈNES ET LOIS ÉLECTRIQUES

§ 11. **Magnétisme.** — Certains minerais de fer ont la propriété d'attirer le fer doux; ce sont des *aimants naturels*; et cette propriété se nomme *Magnétisme.* Un barreau d'acier frotté avec un aimant acquiert les mêmes propriétés; on forme ainsi un *aimant artificiel.* Dans un pareil barreau, les pôles d'attraction sont placés aux deux extrémités du barreau; la ligne médiane ou *ligne neutre* n'a aucune action sur le fer. Un barreau aimanté horizontal mobile sur un

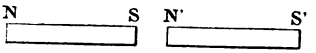


Fig. 9.

pivot vertical s'oriente toujours de la même façon; il prend à peu près la direction Nord-Sud, le même pôle se tourne toujours vers le Nord. C'est ainsi que se trouve constituée la boussole.

Si l'on prend deux aimants, on remarque que leurs pôles de même nom se repoussent, tandis que les pôles de noms contraires s'attirent. On en conclut que la terre agit sur la boussole comme un aimant ayant la direction Nord-Sud. On appelle *pôle Nord* celui qui se dirige vers le Nord, l'autre se nomme *pôle Sud.*

Un barreau de fer doux sous l'action d'un aimant prend également deux pôles et se comporte comme un aimant.

Digitized by Google

La seule différence est que son pouvoir magnétique cesse dès qu'il n'est plus soumis à l'action de l'aimant, tandis que dans l'acier l'aimantation est permanente.

Champ magnétique. — Lignes de force. — Si, au-dessus d'un aimant NS, on place une feuille de papier saupoudrée de limaille de fer, celle-ci se répartit suivant certaines

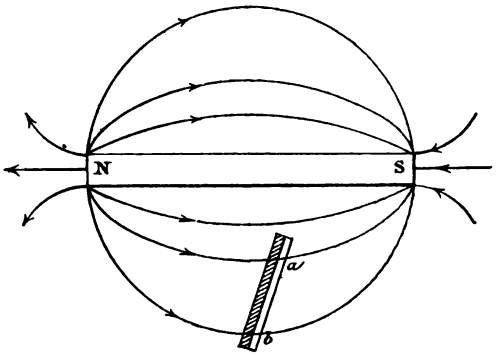


Fig. 10.

courbes déterminées, et seulement dans un espace limité; ce qui prouve que l'influence de l'aimant ne se fait pas sentir au-delà d'une certaine distance, et que sa force n'agit pas d'une manière uniforme dans tous les points soumis à son action.

On nomme *champ magnétique* l'espace dans lequel s'exerce l'influence de l'aimant. Faraday a représenté cette action par des *lignes de force* donnant en chaque point du champ la direction de la force magnétique. Ces lignes sont figurées par les courbes suivant lesquelles la limaille se dispose dans l'expérience précédente. Pour définir leur sens, on admet comme positives celles qui vont du pôle Nord au pôle Sud, et comme négatives celles qui ont une direction inverse (fig. 10).

Digitized by Google

On admet que le nombre des lignes de force est proportionnel à l'intensité du champ magnétique. L'action exercée sur un barreau *ab* placé dans le champ magnétique sera donc d'autant plus énergique que ce barreau coupera un plus grand nombre de lignes de force ; et l'action magnétique exercée sur une surface donnée pourra être représentée par le nombre de lignes de force qu'elle coupera.

Pour conserver à plusieurs barreaux leur aimantation, on les superpose en croisant leurs pôles et en les séparant entre eux par une couche mince de bois ou de carton.

§ **12. Électro-magnétisme. Action des aimants sur les courants.** — Ce phénomène a été découvert par Oersted, et Ampère en a formulé la loi comme il suit :

Quand on fait passer un courant dans un conducteur placé près d'une aiguille aimantée mobile autour de son

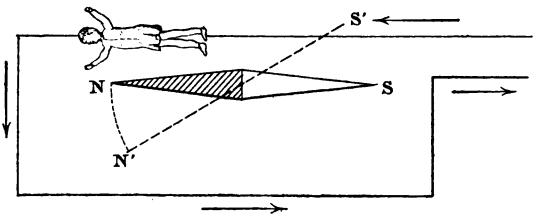


Fig. 11.

axe, elle subit une déviation et tend à se mettre en croix avec le conducteur, de manière que son pôle Nord soit à la gauche du courant. Supposons un observateur couché sur le conducteur et ayant la face tournée vers l'aiguille ; si le courant lui entre par les pieds et lui sort par la tête, la droite et la gauche de l'observateur sont la droite et la gauche du courant (fig. 11).

Digitized by Google

On multiplie l'action du courant sur l'aiguille en contournant plusieurs fois autour d'elle, dans le même sens, le fil, qu'on a soin d'isoler. On forme ainsi ce qu'on appelle un *multiplicateur*.

C'est sur ce principe que sont basés les galvanomètres, appareils destinés à la mesure des courants.

Système astatique. — Pour neutraliser l'influence exercée par la terre sur l'aiguille aimantée NS, on la réunit à une seconde aiguille aimantée N'S', disposée parallèlement (fig. 12), de telle facon que les pôles de noms contraires

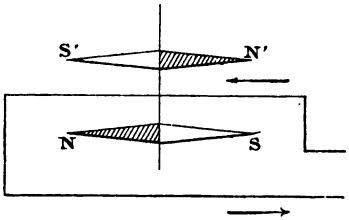


Fig. 12.

soient superposés. Si les deux aiguilles ont le même degré d'aimantation et la même grandeur, les actions des pôles terrestres se neutralisent, quelle que soit l'orientation des aiguilles, et l'on a ce qu'on appelle un *système astatique*.

L'action d'un courant sur un aimant est réciproque, c'est-à-dire que si l'on approche un aimant d'un circuit mobile traversé par un courant, le conducteur se déplace et tend à se mettre en croix avec l'aimant.

§ **13. Électro-dynamique. Lois d'Ampère.** — L'électrodynamique étudie les actions que les courants exercent les uns sur les autres.

Ampère a posé les lois suivantes :

1° Deux courants parallèles et de même sens s'attirent.

Digitized by Google

2° Deux courants parallèles et de sens contraires se repoussent.

3° Deux courants angulaires s'attirent s'ils s'approchent ou s'éloignent tous les deux à la fois de leur point de croisement, ou plus généralement du pied de leur perpendiculaire commune (pour le cas où ils ne sont pas dans le même plan). Ils se repoussent si l'un s'approche de ce point, tandis que l'autre s'en éloigne.

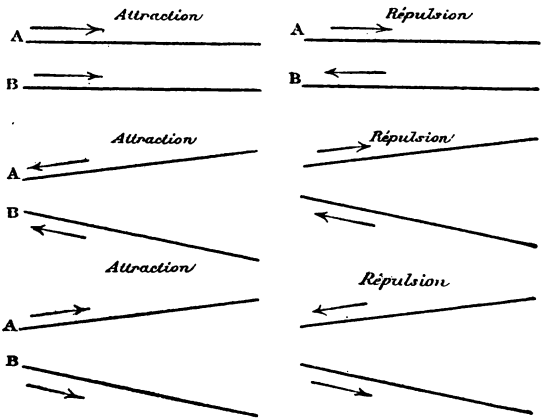


Fig. 13.

4° La force qui s'exerce entre deux courants est, dans tous les cas, proportionnelle au produit des intensités de ces courants par leurs longueurs; elle varie en raison inverse du carré de leur distance.

5° Deux éléments consécutifs d'un même courant se repoussent.

6° Un courant sinueux produit la même action qu'un courant rectiligne qui s'en écarte infiniment peu et qui est terminé aux mêmes extrémités.

Digitized by Google

Représentons deux courants A, B dans ces diverses positions; le tableau ci-contre (fig. 13) représente leurs actions réciproques dans ces différents cas.

§ **14. Solénoïdes.** — On appelle *solénoïde* un système de courants circulaires égaux, parallèles, de même sens, et dont les centres sont sur une même droite à laquelle les plans des cercles sont perpendiculaires; cette droite constitue l'axe du solénoïde.

Dans la pratique, pour construire un solénoïde, on enroule un fil en hélice (fig. 14), et on ramène le conducteur

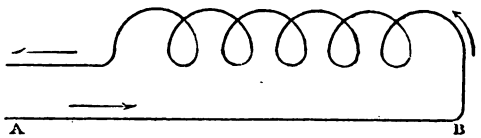


Fig. 14.

A B parallèlement à l'axe. Chaque boucle peut être en effet décomposée en deux éléments, dont l'un a une direction rectiligne parallèle à l'axe, tandis que l'autre est circulaire et placé dans un plan perpendiculaire à l'axe, ces deux éléments étant respectivement égaux aux projections de la portion d'hélice. D'après le principe des courants sinueux, chaque portion du fil produit le même effet que ces deux éléments. Or, l'action des éléments rectilignes est détruite par celle du fil AB, et l'on n'a plus, en définitive, à considérer que l'effet des éléments circulaires.

Il existe une analogie complète entre les solénoïdes et les aimants. Sous l'influence de la terre, ils s'orientent dans la direction du Nord-Sud; et l'extrémité qui se tourne vers le Nord, c'est-à-dire le *pôle Nord* du solénoïde, est celle en face de laquelle il faut se placer pour que le sens des courants circulaires paraisse inverse de celui de la rotation des aiguilles d'une montre.

Digitized by Google

Un solénoïde mobile sollicité par un courant tend à se placer en croix avec ce courant. Dans deux solénoïdes, les pôles de même nom se repoussent, ceux de noms contraires s'attirent. Cette analogie des aimants et des solénoïdes a conduit Ampère à une théorie d'après laquelle un aimant est un assemblage de solénoïdes particulaires semblablement orientés, et se comporte comme un vrai solénoïde.

§ **15. Aimantation par les courants.** — L'aimantation par les courants est une conséquence des lois énoncées ci-dessus. Arago plaçant un morceau de fer doux en croix avec

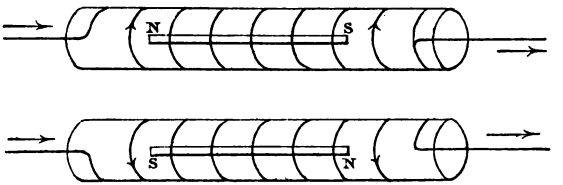


Fig. 15.

un fil traversé par un courant constata l'aimantation du barreau, avec des pôles disposés suivant la loi d'Ampère. L'aimantation cesse avec le courant. Si l'on place le barreau dans un tube de verre (fig. 15), autour duquel on enroule le conducteur, on multiplie l'action. Le pôle Nord se forme à l'extrémité devant laquelle il faut se placer pour que le sens des courants circulaires soit inverse de celui de l'aiguille d'une montre.

Électro-aimants. — C'est sur ce principe que sont basés les électro-aimants. On enroule sur un barreau de fer doux un fil de cuivre recouvert de soie. Le passage du courant dans ce fil donne des propriétés magnétiques au fer doux et y détermine deux pôles de noms contraires.

Digitized by Google

Les électro-aimants peuvent développer temporairement une force magnétique beaucoup plus considérable que celle des aimants permanents les plus énergiques. Ils ont en outre l'avantage de n'agir qu'au moment voulu. Aussi ont-ils donné lieu à de nombreuses applications. Les appareils télégraphiques, les lampes-régulateurs, les dynamos sont presque tous basés sur leur emploi.

La première condition pour constituer un électro-aimant est de prendre du fer doux qui n'ait aucune force coercitive. Pour cela, on choisit du fer aussi pur que possible ; le fer au bois est indispensable et les fers du Berry sont généralement employés. Après avoir donné aux barreaux la forme qu'ils doivent prendre, on les recuit à plusieurs reprises et on achève de les travailler non pas au marteau, mais à la lime. On évite ainsi la force coercitive que l'écrouissage communique même au fer le plus pur.

La forme d'un électro-aimant dépend essentiellement de l'application à laquelle il est destiné. Celle que nous venons d'indiquer plus haut, consistant en un barreau de fer doux entouré d'une bobine, est désignée sous le nom d'électro-aimant *droit*. Lorsque l'appareil doit exercer une attraction sur une pièce de fer doux, cette dernière reçoit le nom d'*armature*. On construit souvent l'électro-aimant en courbant le barreau en fer à cheval, et on place les deux branches ainsi obtenues dans deux bobines AB (fig. 16), sur lesquelles s'enroule un même fil de cuivre. Il faut seulement avoir soin de régler le sens de cet enroulement, de façon que les actions des deux bobines soient concordantes. L'enroulement doit être tel qu'en supposant le barreau redressé et les bobines superposées par leurs faces supérieures, l'hélice de l'une soit la continuation de l'hélice de l'autre. De cette façon, les deux pôles de l'électro-aimant agissent simultanément sur l'armature, et l'action résultante est plus considérable.

Digitized by Google

Au lieu de courber un barreau en fer à cheval, ce qui peut donner naissance à une force coercitive, on préfère souvent réunir par une traverse de fer doux deux barreaux placés parallèlement (fig. 17).

On emploie quelquefois une modification de cette dernière forme, qui consiste à ne mettre de bobine que sur une seule branche de l'électro-aimant. Dans ce cas, l'appareil est dit *boiteux*.

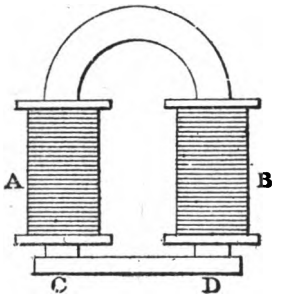


Fig. 16.

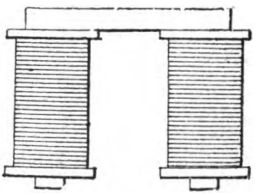


Fig. 17.

L'électro-aimant *solénoïdal* est formé par un solénoïde en fil de cuivre dans lequel est placé un noyau de fer mobile suivant l'axe du solénoïde.

Entrefer. — Quand il n'y a pas contact entre l'électro-aimant et son armature, on nomme *Entrefer* la distance qui les sépare.

Magnétisme rémanent. — En théorie, la force produite par un électro-aimant doit disparaître aussitôt que le courant est interrompu. En pratique, il n'en est pas toujours ainsi, et l'action persiste après la suppression du courant.

Cet effet est dû à la présence dans le fer doux d'une certaine quantité de magnétisme qu'on a appelé *rémanent* ou *résiduel*. Il est d'ailleurs d'autant plus faible que le fer est plus pur. La cause de ce magnétisme a reçu le nom de *force*

Digitized by Google

coercitive. On en diminue l'intensité en empêchant le contact complet entre les pôles et l'armature par l'interposition d'une feuille de carton ou de papier. On peut encore disposer un obstacle qui arrête l'armature à une faible distance de l'électro-aimant.

Hystérésis. Quand une substance magnétique est soumise à une force magnétisante variable, l'aimantation qu'elle prend n'est pas, à un moment donné, déterminée uniquement par la valeur actuelle de cette force, mais elle dépend encore des actions magnétisantes déjà subies, de l'intensité et du sens de ces actions.

Ainsi quand on fait décrire à un barreau de fer doux un cycle magnétique complet, en amenant la force magnétisante à une valeur maxima, puis en passant à une valeur égale et de sens contraire et en revenant à la valeur maxima initiale, on remarque que la courbe de désaimantation ne se superpose pas à celle d'aimantation; elle est en retard sur celle-ci. C'est ce phénomène qui a reçu le nom d'*hystérésis*.

L'hystérésis vient compliquer les questions où l'aimantation variable du fer joue un certain rôle, et la dépense d'énergie qui en résulte peut devenir importante si les cycles sont très rapides comme dans les alternateurs et les transformateurs.

§ **16. Induction. Lois de Faraday.** — C'est Faraday qui a découvert ces phénomènes et qui en a posé les lois.

Soit une bobine B (fig. 18) reliée à un galvanomètre G, et une bobine B′ placée dans l'intérieur de la première. Si B′ communique avec une source d'électricité, on aperçoit une déviation au galvanomètre chaque fois qu'on établit ou qu'on interrompt le courant, et dans ces deux cas les courants sont de sens contraires. Le même fait se produit chaque fois qu'on approche ou qu'on éloigne B′ de B.

Digitized by Google

Le courant qui produit cet effet se nomme *inducteur*; le courant engendré est l'*induit*. Le circuit parcouru par l'inducteur est dit circuit *primaire*, celui qui est traversé par l'induit est le circuit *secondaire*. Le courant induit est

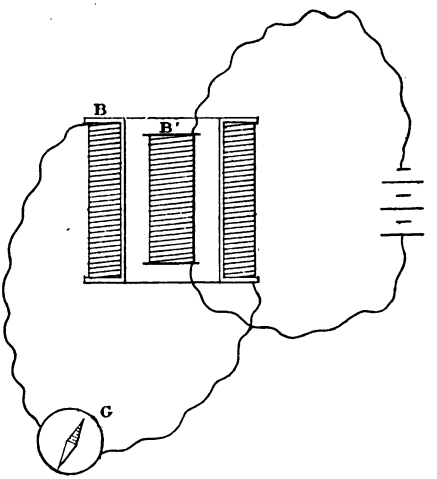


Fig. 18.

direct s'il a le même sens que l'inducteur, il est *inverse* dans le cas contraire.

Faraday a posé les lois suivantes :

1° Un courant qui commence engendre dans un circuit voisin un courant induit inverse.

2° Un courant qui finit produit un courant direct.

3° Un courant qui s'approche d'un circuit y produit un courant induit inverse.

4° Un courant qui s'éloigne engendre un courant direct.

Un aimant étant, comme on l'a vu, assimilable à un solénoïde peut produire des phénomènes d'induction analogues à ceux qui résulteraient des courants particulaires dont il est formé :

Digitized by Google

1° Un aimant qui se forme ou qui s'approche d'un circuit y détermine un courant induit inverse de celui du solénoïde auquel l'aimant peut être assimilé.

2° Un aimant dont l'aimantation cesse ou qui s'éloigne d'un circuit y produit un courant induit direct.

§ 17. **Lois de Lenz.** — Il est utile de remarquer que ces courants inducteurs et induits agissent les uns sur les autres conformément aux lois d'Ampère. Ainsi lorsqu'on approche un courant d'un conducteur fermé, on y détermine un courant inverse ou de sens contraire au courant inducteur; il se produit, par suite, entre ces deux courants, une force répulsive qui s'oppose au mouvement. De même lorsqu'on éloigne l'inducteur, on développe dans l'induit un courant direct ou de même sens, qui tend à attirer l'inducteur et s'oppose encore au mouvement. Cette propriété a été exprimée comme il suit par Lenz :

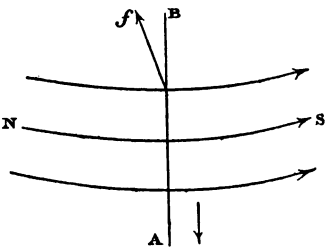


Fig. 19.

Quand on déplace un circuit devant un courant ou un aimant, ou réciproquement, le sens du courant induit est tel qu'il s'oppose au mouvement qui le produit.

La notion du champ magnétique et des lignes de force permet de formuler les lois d'induction des courants par les aimants d'une manière différente, dont l'application est plus simple.

Quand un conducteur est mis en mouvement dans un champ magnétique, de façon à couper les lignes de force, il se développe dans ce conducteur une force dans une direction perpendiculaire au sens du mouvement, ainsi qu'à la direction des lignes de force. Le sens de ce cou-

Digitized by Google

rant peut être déterminé de la manière suivante : la direction positive des lignes de force étant supposée du pôle Nord au pôle Sud, admettons qu'un observateur soit couché sur le conducteur, et tourné de façon à regarder dans la direction positive des lignes de force; si le mouvement se fait vers la droite de l'observateur, le courant entrera par ses pieds et sortira par sa tête. Si le mouvement du conducteur a lieu vers la gauche de l'observateur, le courant entrera par sa tête et sortira par ses pieds.

Ainsi, dans le champ magnétique NS (fig. 19), le conducteur AB se déplaçant dans le sens *f*, le courant induit marchera de B en A.

Pour qu'il y ait induction dans un conducteur, il faut entre le conducteur et l'aimant un mouvement relatif de nature à modifier le nombre des lignes de force coupées par le circuit. Un conducteur qui se meut de manière à rencontrer toujours le même nombre de lignes de force n'engendre pas de courant induit.

Une augmentation dans le nombre des lignes de force coupées par le conducteur produit un courant de sens contraire à celui que détermine une diminution dans ce nombre.

Nous verrons dans la théorie des dynamos une application très importante de ces principes.

Pour augmenter l'induction, on peut placer dans l'intérieur de la bobine inductrice une barre de fer doux. Elle s'aimante et produit des courants induits qui s'ajoutent aux premiers.

Les courants induits sont toujours de courte durée, mais la quantité d'électricité mise en jeu est très grande.

§ 18. **Courants induits d'ordres supérieurs.** — De même que les courants ordinaires produisent des courants induits, ceux-ci peuvent à leur tour exercer une action inductrice sur les conducteurs voisins, et ainsi de suite.

Digitized by Google

Ces différents courants sont dits de *premier*, de *second*, de *troisième* ordre, etc., suivant qu'ils sont dus à une, à deux, à trois inductions.

Extra-courant. — Les réactions qui ont lieu entre deux éléments voisins de deux circuits différents peuvent s'exercer d'une manière analogue entre deux éléments consécutifs d'un même circuit. Cette action, qui se produit principalement à la fermeture et à la rupture du circuit, constitue l'*extra-courant* ou *self-induction*. Elle est surtout sensible lorsqu'une partie du conducteur est enroulée plusieurs fois sur elle-même, de manière que chacun de ses éléments ait dans son voisinage un grand nombre d'autres éléments.

L'extra-courant est dit de *fermeture* ou de *rupture*, suivant qu'il est produit par la fermeture ou la rupture du circuit.

L'extra-courant de fermeture est un courant inverse qui diminue pour un moment l'intensité du courant principal. Il retarde l'établissement du régime.

L'extra-courant de rupture agit au contraire dans le même sens que le courant principal, dont il augmente l'intensité. Son résultat est de prolonger un instant l'effet de ce dernier. Comme on le voit, le courant principal a, au début, une valeur moindre qu'au moment où le régime est atteint, grâce à la self-induction ; mais l'énergie absorbée au début est restituée au moment de l'interruption. Ces phénomènes sont analogues à l'inertie dans une masse en mouvement.

ÉLECTROLYSE

§ 19. Définitions. Principes généraux. — Si dans une dissolution métallique on plonge deux lames de platine reliées chacune à un pôle d'une pile P (fig. 20) possédant une force électromotrice suffisante, le circuit se trouve fermé

Digitized by Google

par le bain. Le courant de la pile traverse le liquide et le décompose. Supposons une dissolution de chlorure d'étain ; on voit l'étain métallique se déposer sur la plaque C reliée au pôle négatif de la pile, et du chlore gazeux se dégager à la plaque A qui communique avec le pôle positif.

Ce phénomène a reçu le nom d'*électrolyse* ; la dissolution décomposée par le passage du courant se nomme *électrolyte*. Les deux plaques plongeant dans le bain sont les *électrodes* ; la plaque C reliée au pôle négatif de la pile s'appelle *cathode*, l'autre plaque A porte le nom d'*anode*.

Dans l'électrolyse les éléments analogues à l'oxygène se déposent sur l'anode ; les éléments analogues à l'hydrogène et aux métaux se rendent à la cathode.

Pour qu'un composé soit électrolysable, il faut :

1° Qu'il soit liquide.

2° Qu'il soit conducteur de l'électricité.

3° Chaque dissolution exige, pour être décomposée, une force électromotrice minima qui dépend de l'affinité des éléments qui la composent, ou, ce qui revient au même, de la quantité de chaleur produite par leur combinaison.

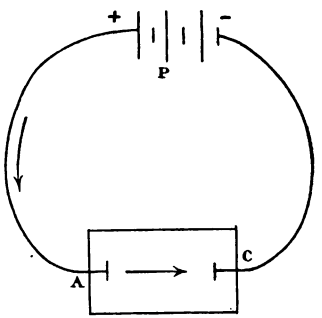


Fig. 20.

Il n'est pas nécessaire, pour que l'électrolyse ait lieu, que le sel soit dissous ; il peut avoir été amené à l'état de fusion au moyen de la chaleur. Ainsi le fluorure double d'aluminium et de sodium peut être électrolysé entre deux électrodes de charbon. Le courant produit un arc voltaïque entre les deux surfaces, et la température engendrée amène la

Digitized by Google

fusion du sel qui est ensuite décomposé. Sur ce phénomène repose un procédé d'extraction de l'aluminium.

De même, en fondant du chlorure de plomb dans un tube en U, et en plongeant dans chaque branche une électrode en platine, on obtient du chlore d'un côté et du plomb dans la branche opposée.

§ **20. Lois de Faraday.** — Faraday a établi les lois suivantes au sujet de l'électrolyse :

1° *L'action chimique est identique en tous les points d'un même circuit.*

Si, par exemple, on dispose en série sur le même circuit, plusieurs bains formés du même liquide, les quantités décomposées pendant un temps donné sont égales dans tous les bains.

2° *La quantité d'électrolyte décomposée en un temps donné est proportionnelle à l'intensité du courant.*

3° *Si, dans un même circuit, on place à la suite les uns des autres des bains de compositions différentes, les quantités des divers éléments électrolysés en un même temps sont proportionnelles à leurs équivalents chimiques.*

Équivalent électro-chimique. — L'expérience a démontré que 1 coulomb d'électricité, traversant un électrolyte, met en liberté

0,010384 milligramme d'hydrogène.

Si on appelle E l'équivalent chimique d'un corps rapporté à l'hydrogène, le poids de ce corps mis en liberté par 1 coulomb sera :

$$(1)\quad m = 0{,}10384 \times E \text{ milligrammes.}$$

D'après les lois énoncées ci-dessus, ce poids m est constant pour un corps donné; c'est ce qu'on nomme l'*Équivalent électro-chimique.*

Digitized by Google

Nous donnons, à la fin de cet ouvrage (Appendice) une table contenant les valeurs des équivalents électro-chimiques des corps les plus employés.

Cette notion permet de déterminer d'une façon simple la quantité d'électricité Q nécessaire pour électrolyser un poids P d'un métal.

En effet, m étant le poids mis en liberté par un coulomb, on a

$$(2)\quad P = m\,Q.$$

Exemple. — Quelle quantité d'électricité faut-il dépenser pour électrolyser un kilogramme de cuivre ?

La table nous donne 0,33021 pour l'équivalent électro-chimique du cuivre.

De (2) on tire :

$$Q = \frac{P}{m}$$

$$P = 1\ 000\ 000 \text{ milligrammes.}$$

$$Q = \frac{1\ 000\ 000}{0,33\ 021} = 3\ 000\ 000 \text{ coulombs}$$

$$\frac{3\ 000\ 000}{3\ 600} = 833 \text{ ampères-heure}$$

Cette formule permet, comme on le voit, de déterminer quantité d'électricité correspondant à un poids donné de métal électrolysé. Certains appareils de mesure sont basés sur ce fait. Pour mesurer la quantité d'électricité produite par un courant, on interpose sur son passage une dissolution qu'on électrolyse; l'augmentation de poids de la cathode permet de calculer la quantité d'électricité cherchée.

§ 21. **Théorie de Grotthus et Faraday.** — Quand on électrolyse une dissolution saline, on remarque que les éléments séparés par le courant n'apparaissent que sur

Digitized by Google

les électrodes, comme si le liquide en contact avec ces surfaces avait seul été décomposé.

Si l'on traite, par exemple, du chlorure d'étain, on voit apparaître du chlore au pôle positif et de l'étain au pôle négatif. On ne peut pourtant pas admettre que les molécules intermédiaires n'ont pas pris part à l'action.

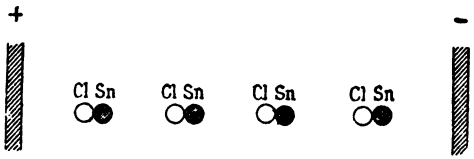


Fig. 21.

Grotthus a interprété ce phénomène de la façon suivante.

Supposons que la fig. 21 représente les molécules à l'état initial d'équilibre; lorsque le courant passera, elles se sépareront et chaque molécule d'étain venant se combiner à la molécule voisine de chlore, il se formera un

Fig. 22.

groupement nouveau représenté par la fig. 22. On peut se faire ainsi une idée de la façon dont le bain se comporte et s'expliquer comment les molécules voisines des électrodes semblent seules avoir pris part à l'action. C'est une conséquence de la première loi de Faraday qui implique l'identité de l'action chimique en tous les points du même circuit.

Actions secondaires. — Les phénomènes d'électrolyse

Digitized by Google

ne sont pas toujours aussi simples que l'indique la théorie précédente, et il se présente souvent des *actions secondaires* qui modifient complètement les résultats primitifs. Ainsi, si l'on opère sur une dissolution de chlorure de sodium, le métal qui se porte au pôle négatif décompose l'eau; il y a formation de soude et l'on voit de l'hydrogène se dégager à ce pôle. Il arrive aussi que le chlore qui se produit au pôle positif se dissout en grande partie dans l'eau et peut attaquer l'anode si la nature du métal le permet.

Ces différentes actions qui se passent simultanément donnent souvent lieu à des phénomènes très complexes.

La galvanoplastie et l'électro-métallurgie sont basées sur les lois que nous venons d'énoncer.

Digitized by Google

CHAPITRE III

APPAREILS DE MESURE

§ 22. **Galvanomètres.** — Les galvanomètres servent à constater la présence des courants et à les mesurer. Ils reposent sur la propriété qu'ont les courants de dévier l'aiguille aimantée. Pour augmenter l'effet du courant sur l'aiguille, on se sert du multiplicateur, dont nous avons parlé § 12; on place l'aiguille dans un cadre rectangulaire, autour duquel on enroule plusieurs fois le conducteur en tournant toujours dans le même sens. L'action du courant se trouve mutipliée par le nombre de spires. La sensibilité de l'appareil est encore augmentée si l'on soustrait l'aiguille à l'action de la terre par le système astatique.

Les galvanomètres sont généralement des appareils de précision que l'on n'emploie que dans les laboratoires pour mesurer les éléments d'un courant, intensité, force électromotrice, résistance; ils exigent des calculs souvent compliqués et des manipulations délicates. Nous ne décrirons pas ici ces appareils.

Mais il existe des modèles de galvanomètres portatifs servant uniquement à reconnaître l'existence d'un courant. On s'en sert, comme nous le verrons plus loin, pour découvrir certains défauts dans une machine ou dans une canalisation. Ils sont construits d'après le principe énoncé ci-dessus. Ils comportent un cadre multiplicateur. Pour s'affranchir de l'obligation de placer l'aiguille dans

Digitized by Google

le méridien magnétique, on dispose sous le cadre un petit aimant directeur. L'aiguille suit tous les mouvements de l'aimant, et il est facile, pour une position quelconque du multiplicateur, de faire tourner l'aimant jusqu'à amener celui-ci à être parallèle au multiplicateur.

Pour mesurer l'intensité et la différence de potentiel, il existe des appareils tout à fait industriels permettant par une simple lecture de déterminer ces quantités. Nous allons les passer en revue.

MESURE DE L'INTENSITÉ

§ **23. Ampèremètre Deprez.** — Les ampèremètres servent à mesurer l'intensité. Voici sur quel principe repose celui de Deprez. Si entre les branches d'un fort aimant NS on dispose deux bobines B, B' fixes et reliées en quantité, et si l'on place entre elles une pièce de fer doux *a* mobile sur un axe vertical, celle-ci se met suivant la ligne des pôles NS. Mais si un courant passe dans les bobines, il modifie l'aimantation de l'aimant ; la pièce de fer se déplace, et les déviations ayant été déterminées une fois pour toutes d'après chaque intensité, on établit un cadran divisé sur lequel se meut une aiguille I reliée à la pièce *a*. Les degrés du cadran donnent le nombre d'ampères.

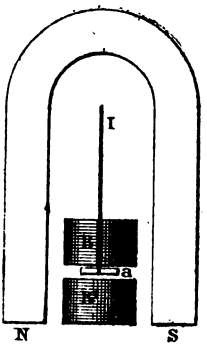


Fig. 23.

§ **24. Ampèremètre Deprez et Carpentier.** — Il repose sur le même principe que celui de Deprez, mais il diffère par quelques détails. Le champ magnétique est formé de deux aimants demi-circulaires AB, A'B', aussi identiques que

Digitized by Google

possible (fig. 24). Les bobines qui forment le cadre galvanométrique sont placées obliquement, afin de doubler la déviation dans un sens pour une intensité donnée, et de l'annuler dans l'autre. Le courant doit donc toujours traverser l'appareil dans une direction déterminée. L'aiguille en fer doux est placée au centre du champ magnétique; elle est mobile autour d'un axe, et porte un index qui se meut sur un cadran, dont les degrés indiquent le nombre d'ampères. L'obliquité de la double bobine peut être modifiée à volonté pour le réglage de l'appareil; elle est formée de lames en cuivre rouge offrant une très faible résistance.

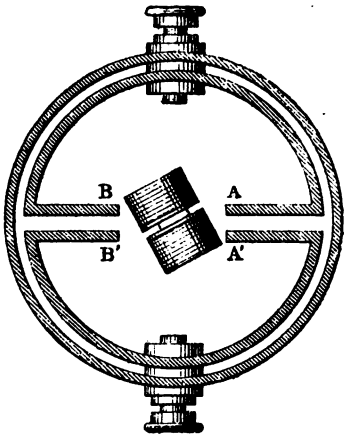


Fig. 24.

Cet appareil permet de mesurer des intensités jusqu'à 50 ampères. Quand on veut dépasser cette limite, l'appareil est muni d'un *réducteur*; c'est une lame de cuivre placée en dérivation sur la bobine et absorbant ainsi une partie du courant. Ces réducteurs sont de trois modèles : le n° 1 a la même résistance que l'ampèremètre; le n° 2 une résistance 2 fois moindre; le n° 3 une résistance 3 fois moindre. On peut mesurer 100, 150, 200 ampères. Pour cela, il faut multiplier le nombre du cadran par 2 pour le réducteur n° 1, par 3 pour le réducteur n° 2, par 4 pour le réducteur n° 3; car, en chacun de ces cas, il ne passe dans l'ampèremètre que $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ du courant à mesurer.

Digitized by Google

On place l'ampèremètre sur le circuit *directement*, en reliant le pôle + à la borne de gauche et le pôle — à celle de droite. Quand on ne connaît pas le sens du circuit, on place l'ampèremètre d'une façon quelconque; si l'aiguille dévie à gauche, en dehors de l'échelle, on intervertit la disposition.

Lorsqu'on emploie un réducteur, on le place sous l'ampèremètre; on serre fortement les plaques reliant les bornes des deux appareils, et l'on attache les conducteurs aux bornes du réducteur, le pôle + à gauche, le pôle — à droite.

Dans les ampèremètres de cette nature, comprenant des aimants, il arrive que ceux-ci s'affaiblissent par l'usage, et l'on est obligé de vérifier de temps en temps leur graduation. C'est un inconvénient.

§ **25. Ampèremètre Richard.** — Cet appareil est formé d'un électro-aimant A B à gros fil (fig. 25). L'armature est

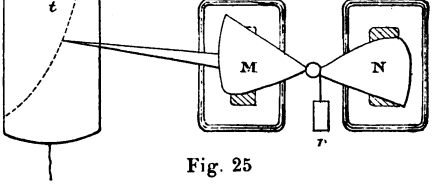


Fig. 25

constituée par une pièce en fer MN mobile autour d'un axe parallèle aux branches de l'électro-aimant. Cette pièce a la forme d'une hélice à deux ailes. Quand le courant passe, l'hélice est attirée et elle tourne autour de son axe. Cet effet est contrebalancé par un poids *p* porté par un petit levier. L'armature tourne jusqu'à ce que l'attraction de l'aimant et le poids se fassent équilibre.

Digitized by Google

Les déviations sont indiquées sur un cadran par une aiguille liée à l'armature.

Pour obtenir un appareil enregistreur, l'extrémité de l'aiguille est munie d'une pointe qui vient tracer une ligne sur un tambour *t* garni de papier; celui-ci est mû par un mouvement d'horlogerie et fait une révolution dans un temps donné. Une échelle graduée permet de traduire les indications tracées.

Avec cet appareil on obtient pour l'aiguille de grandes déviations angulaires, et les angles sont exactement proportionnels aux intensités.

§ **26. Ampèremètre-balance.** — Cet appareil (fig. 26) repose sur le principe de la balance. Il ne comporte pas

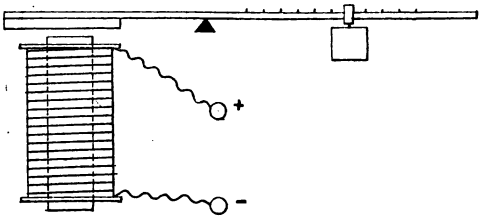


Fig. 26.

d'aimant permanent; il est formé d'une bobine parcourue par le courant, avec noyau de fer et armature; celle-ci en se prolongeant forme le fléau de la balance. De l'autre côté du point de suspension, le fléau porte une échelle graduée sur laquelle glisse un contrepoids. Celui-ci équilibre la force d'attraction du courant, et le degré auquel on s'arrête indique le nombre d'ampères. Il permet de mesurer jusqu'à 250 ampères.

§ **27. Emploi des ampèremètres.** — Il faut les placer toujours *directement* dans le circuit dont on mesure l'intensité. Dans ce but, ils présentent une résistance très

Digitized by Google

faible, qui modifie d'une façon insensible la résistance totale du circuit et qui permet à l'appareil de ne pas s'échauffer.

Soit M une dynamo, ABC le courant principal, et PN une dérivation alimentant, par exemple, une lampe. Si l'on veut avoir l'intensité totale, il faut mettre l'appareil en G. Si l'on désire l'intensité dans la dérivation, on doit le placer en *g*.

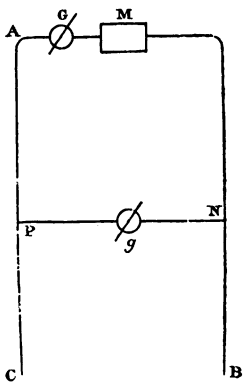


Fig. 27.

Vérification des ampèremètres. — Ces appareils contenant pour la plupart des aimants qui s'affaiblissent avec le temps, il est utile de les vérifier quelquefois. Il y a deux moyens :

1° On fait passer un courant dans un électrolyte et dans le galvanomètre pendant un temps *t*, en maintenant la déviation constante.

Soient P le poids de métal électrolysé, Q la quantité d'électricité dépensée, et *m* le poids électrolysé par un coulomb, on a (§ 20) :

$$P = m\,Q\,;$$

or

$$Q = I\,t$$

d'où

$$I = \frac{P}{m\,t}\,.$$

Le chiffre donné par le calcul doit s'accorder avec celui que marque le galvanomètre.

On opère sur une dissolution d'azotate d'argent ou de sulfate de cuivre avec des électrodes du même métal.

2° On vérifie l'ampèremètre par comparaison avec un galvanomètre étalonné dont on est sûr.

§ **28. Électro-dynamomètres.** — Ces appareils sont basés sur les actions des courants sur les courants. Supposons un conducteur fixe traversé par un courant constant,

Digitized by Google

et un conducteur mobile où circule le courant à mesurer. Les déviations de celui-ci sont proportionnelles au produit des intensités des deux courants. Pour augmenter la sensibilité de l'appareil, on fait passer dans les deux conducteurs le courant que l'on veut mesurer. Les déviations sont alors proportionnelles au carré de son intensité. Ces appareils peuvent servir à mesurer des courants alternatifs; car, lorsque le courant change de sens, il le fait dans les deux conducteurs à la fois; l'action réciproque reste la même, et le cadre mobile se déplace comme pour les courants continus.

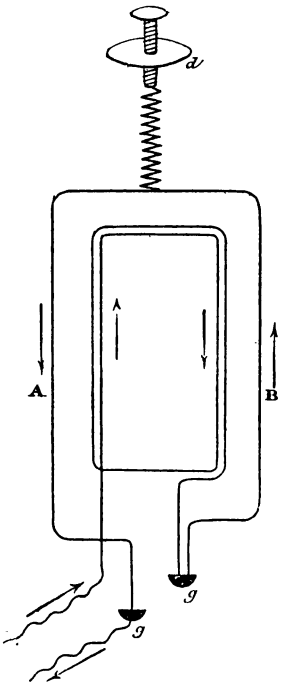


Fig. 28.

L'électro-dynamomètre de MM. Siemens et Halske est disposé de façon à annuler l'action magnétique de la terre sur le cadre mobile. Pour un courant donné, l'action réciproque des deux circuits est proportionnelle au produit des nombres de tours que le fil fait sur les deux cadres. Donc le même courant donne la même déviation si l'on met 10 tours sur chaque cadre, ou bien 1 tour sur le cadre mobile et 100 sur le cadre fixe. Mais dans ce cas, l'action de la terre est presque nulle par rapport à celle de la bobine fixe; il n'est donc pas nécessaire d'orienter l'appareil.

Cet électro-dynamomètre (fig. 28) comprend un cadre

Digitized by Google

vertical mobile AB, n'ayant qu'un tour de gros fil, et mis dans le circuit par deux godets de mercure *g*, *g*. Il est suspendu en haut par un ressort en spirale attaché à une douille métallique *d*. Cette douille, qu'on peut tourner à la main, porte un index mobile sur un cadran horizontal divisé. Les tensions du ressort sont proportionnelles au carré de l'intensité. Une bobine fixe est placée dans l'intérieur du cadre; elle est formée de plusieurs tours d'un fil de cuivre isolé; le courant lui est communiqué comme l'indique la figure.

Enfin, le cadre fixe comprend deux circuits différents : le premier, formé de gros fil, sert pour les courants de 10 à 60 ampères; le second est employé pour les courants inférieurs à 10 ampères.

Emploi de l'appareil. — On place d'abord les deux cadres dans une position parfaitement rectangulaire, en amenant un index fixé au cadre mobile à être au zéro du cadran; ce résultat s'obtient en agissant sur la douille qui porte le ressort. On note alors la position de l'index fixé à cette douille.

Cela fait, on envoie le courant dans l'électro-dynamomètre, en prenant celui des deux circuits du cadre fixe qui correspond à l'intensité que l'on veut mesurer. Le cadre mobile subit une déviation; on le ramène à sa position rectangulaire en augmentant la tension du ressort et en faisant tourner la douille. L'angle que décrit l'index de cette douille indique, à l'aide d'une table, le nombre d'ampères du courant.

MESURE DE LA QUANTITÉ

§ **29. Compteur Cauderay.** — Les compteurs d'électricité sont destinés à mesurer les quantités d'électrité passant dans un circuit pendant un temps donné; ils remplissent

Digitized by Google

le même rôle que les compteurs d'eau et de gaz. Le compteur Cauderay se compose d'un mouvement d'horlogerie battant la seconde et d'un ampèremètre enregistreur. Un cylindre R (fig. 29), tournant autour de son axe *i*, est mû par un mouvement d'horlogerie, de façon à faire, par exemple, un tour par seconde. Des cercles parallèles sont tracés sur sa surface à intervalles égaux. Le cercle du milieu *m* ne porte pas de dents; les deux premiers *n*, *n*, à droite et à gauche, en ont une; les se-

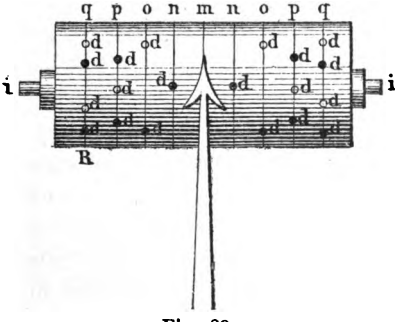


Fig. 29.

conds *o*, *o*, deux, etc. L'aiguille d'un ampèremètre se déplace devant le cylindre. Quand il ne passe pas de courant, elle est en face du cercle *m*. Si un courant de deux ampères, par exemple, passe, l'aiguille dévie à droite ou à gauche, suivant le sens du courant, et se place en face du cercle *o*, dont les deux dents viennent en tournant toucher l'aiguille. Chaque contact fait avancer d'une unité l'aiguille d'un enregistreur analogue à ceux des compteurs à gaz. A chaque tour du cylindre, c'est-à-dire pendant chaque seconde, on enregistre donc deux ampères. Or, comme un ampère représente un coulomb par seconde, chaque tour enregistre deux coulombs.

Le mécanisme d'horlogerie qui fait tourner le cylindre est formé d'un balancier circulaire, réglé par un ressort

Digitized by Google

à spirale, à raison d'une oscillation double par seconde. Le mouvement du balancier est produit par l'attraction qu'exercent des électro-aimants sur deux armatures en fer portées par l'arbre du balancier. Dans ces électro-aimants passe une très faible fraction du courant à mesurer, tout à fait négligeable par rapport au courant total.

Les compteurs en usage sont gradués de deux façons différentes. Dans ceux gradués en 10 000 coulombs, le cylindre R fait un tour en 100 secondes. Chaque contact de l'aiguille et d'une dent représente 100 coulombs. Ils servent dans les installations où existent des lampes de différents systèmes.

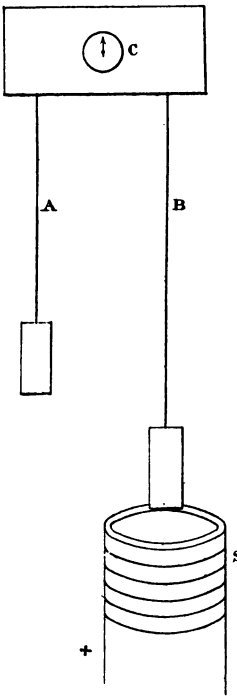


Fig. 30.

Quand on n'a qu'un modèle de lampe, on prend pour unité la *lampe-heure*, quantité d'électricité consommée par une lampe dans une heure. Le cylindre fait un tour en 60 secondes ; et l'ampèremètre est réglé de manière à ce que pour 1, 2, 3... lampes en activité, l'aiguille vienne devant le 1er, le 2e, le 3e... cercle du cylindre R, et enregistre par chaque tour 1, 2, 3... lampes-minute. Tel qu'il est décrit, ce compteur ne s'emploie que pour des courants continus. Avec des courants alternatifs, on remplace l'ampèremètre par l'électro-dynamomètre.

§ 30. **Compteur Aron.** — Le principe de cet appareil repose sur les propriétés du pendule. Rappelons que pour un même pendule, la durée d'oscillation varie en raison inverse du carré de la force verticale qui l'actionne. Un pendule

Digitized by Google

ordinaire n'agit que sous l'influence de la pesanteur. Supposons maintenant un pendule terminé par un aimant, et pouvant osciller au-dessus d'un solénoïde traversé par un courant; l'action développée entre l'aimant et la bobine s'ajoute à celle de la pesanteur, et l'aimant oscille avec une vitesse dépendant de l'intensité du courant.

Le compteur Aron (fig. 30) se compose de deux pendules réglés pour la même durée d'oscillation. Celui de gauche A est un pendule ordinaire; celui de droite B est formé d'un aimant d'acier. Au-dessous de lui est placé le solénoïde S traversé par le courant. Chaque pendule est actionné par un mouvement d'horlogerie à ressort. Un mécanisme différentiel commandé par eux met en mouvement les aiguilles du cadran C.

Les compteurs d'électricité se placent directement sur le circuit étudié.

§ 31. **Compteur Edison.** — Pour mesurer la quantité d'électricité, il existe une seconde méthode basée sur l'électrolyse. Sur le trajet du courant on place un vase contenant une dissolution de sulfate de zinc. Deux électrodes en zinc plongent dans le liquide, et d'après l'augmentation de poids de la lame négative, on calcule la quantité d'électricité qui a passé dans un temps donné, sachant qu'un coulomb précipite 0, 337 mg. de zinc.

Quand les courants sont trop énergiques, on n'envoie dans la dissolution qu'une dérivation du courant total.

Le compteur Edison est basé sur ce principe. Il présente plusieurs inconvénients : l'évaporation du liquide et, par suite, son changement de résistance; la difficulté qu'offre la pesée. De plus, comme il est placé en dérivation, et qu'il ne reçoit qu'une faible partie du courant, les erreurs de mesure sont multipliées par un coefficient assez élevé.

Digitized by Google

MESURES DES DIFFÉRENCES DE POTENTIEL

§ 32. **Voltmètres.** — Les voltmètres servent à mesurer la différence de potentiel entre deux points donnés ; ils reposent sur le principe suivant. Si dans un circuit ABC (fig. 31) on intercale une dérivation MN, on diminue entre ces points la résistance et la différence de potentiel. Mais si la résistance de la dérivation est fort grande, le courant qui la traverse est très faible ; le régime primitif du circuit ne sera donc pas altéré d'une façon sensible, et la différence de potentiel entre M et N ne changera pas. Or la loi de Ohm nous donne

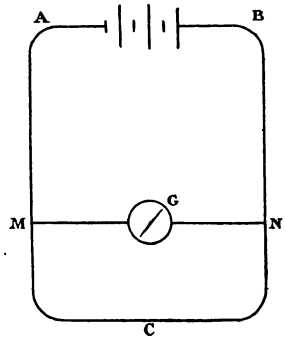


Fig 31.

$$E = I\,R.$$

La différence de potentiel E entre deux points d'un conducteur est proportionnelle à l'intensité I du courant qui le traverse. Un instrument qui nous donne I dans la dérivation pourra donc servir à déterminer E. Il suffit pour cela d'établir entre M et N un appareil semblable aux ampèremètres, mais offrant une très grande résistance. L'instrument étant gradué en conséquence, une simple lecture indiquera la différence cherchée.

§ 33. **Voltmètre Deprez-Carpentier.** — Cet appareil est construit de la même façon que leur ampèremètre (§ 24), sauf que la bobine offre une très grande résistance (environ 2 000 ohms).

Les degrés du cadran donnent les volts.

Pour les différences de potentiel dépassant 120 volts, on

Digitized by Google

emploie des réducteurs formés de résistances que l'on intercale en série dans le voltmètre.

Le n° 1 a la même résistance que le voltmètre; le n° 2 une résistance double; le n° 3 une résistance triple; ils servent respectivement pour 200, 300, 400 volts. Quand on les emploie, il faut multiplier le nombre du cadran par 2 pour le n° 1, par 3 pour le n° 2, par 4 pour le n° 3. Car, dans chacun de ces cas, la différence de potentiel entre les bornes de l'instrument, c'est-à-dire celle qu'on cherche, est double, triple ou quadruple de celle des bornes du voltmètre seul.

On place le voltmètre en dérivation entre les deux points dont on cherche la différence de potentiel; on relie le pôle + à la borne de gauche, le pôle — à celle de droite, quand on opère sans réducteur. Lorsqu'on ignore le sens du courant, on place le voltmètre d'une façon quelconque; si l'aiguille va à gauche, on intervertit les points d'attache.

Quand on emploie un réducteur, on le met sous le voltmètre; on serre les lames reliant les bornes du voltmètre à celles du réducteur, et l'on attache le conducteur aux boutons placés en avant du réducteur, le pôle + à gauche, le pôle — à droite.

§ **34. Voltmètre Richard.** — M. Richard construit des voltmètres analogues à son ampèremètre (§ 25).

§ **35. Voltmètre-balance.** — Cet appareil est semblable à l'appareil décrit § 26; il permet de mesurer 150 vols.

§ **36. Emploi des voltmètres.** — Tout voltmètre doit être placé *en dérivation* entre les deux points dont on cherche la différence de potentiel. Si l'on veut étudier, par exemple, une lampe L, on relie le voltmètre V aux deux bornes A, B de la lampe (fig. 32).

Il est utile que l'appareil ne reste dans le circuit que

Digitized by Google

pendant le temps nécessaire à la lecture, parce que le passage prolongé du courant pourrait échauffer le fil de la bobine ; il faut donc établir sur la dérivation un interrupteur *i*.

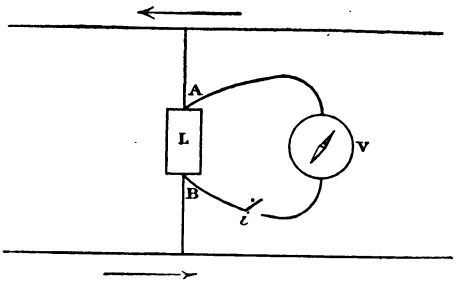


Fig. 32.

§ 37. **Problèmes divers.** — 1° Un ampèremètre disposé sur un circuit indique 5 ampères ; le voltmètre placé entre deux points marque 10 volts ; quelle est la résistance entre ces deux points ?

La loi de Ohm nous donne

$$I = \frac{E}{R}$$

$$5 = \frac{10}{R}$$

d'où

$$R = \frac{10}{5} = 2 \text{ ohms.}$$

2° La résistance connue entre 2 points d'un circuit étant 4 ohms, l'ampèremètre marque 6 ampères ; quelle est la différence de potentiel entre les 2 points ? La même formule nous donne

$$6 = \frac{E}{4}$$

Digitized by Google

d'où

$$E = 6 \times 4 = 24 \text{ volts.}$$

3° La résistance connue entre deux points étant 8 ohms, et le voltmètre placé entre eux indiquant 24 volts ; quelle est l'intensité du courant ? Nous avons d'après la formule :

$$I = \frac{24}{8} = 3 \text{ ampères.}$$

4° Un courant de 10 ampères a fonctionné pendant 5 minutes ; quelle quantité d'électricité a-t-il fournie ?

Nous avons la formule

$$Q = It.$$

$t = 300$ secondes.

$Q = 10 \times 300 = 3\,000$ coulombs.

5° La résistance spécifique du cuivre pur recuit étant 1,616 microhm, quelle sera la résistance d'un fil ayant 2 millimètres de diamètre et 1 000 mètres de long ?

Appliquons la formule

$$R = \rho \frac{l}{s}.$$

ρ est la résistance spécifique, c'est-à-dire celle d'un cube ayant 1 centimètre de côté ; toutes les autres quantités devront donc exprimées en centimètres ;

d'où

$$R = 1{,}616 \times \frac{100\,000}{\frac{\pi\ 0{,}2^2}{4}} = \frac{161\,600}{0{,}0314} =$$

$$= 5\,146\,497 \text{ microhms}$$

$$= 5{,}146497 \text{ ohms.}$$

6° Un courant traversant une dissolution de cuivre a précipité 5 grammes de cuivre en 1 heure ; quelle est l'intensité du courant ?

Digitized by Google

L'équivalent électro-chimique du cuivre est 0,33021, c'est le nombre de milligrammes précipités par un coulomb.

La quantité d'électricité dépensée est

$$\frac{5\,000}{0{,}33021} = 15\,151 \text{ coulombs.}$$

Le nombre de secondes est 3 600; donc l'intensité est donnée par

$$\frac{15\,151}{3\,600} = 4{,}2 \text{ ampères.}$$

7° Quel est le travail absorbé par une lampe à incandescence exigeant une intensité de 0,75 ampère avec une différence de potentiel de 100 volts, pendant 10 heures?

La puissance électrique en watts est exprimée par EI, elle est donc égale à

$$0{,}75 \times 100 = 75 \text{ watts.}$$

En 10 heures on a

$$75 \times 36\,000 = 2\,700\,000 \text{ watts.}$$

Le travail exprimé en kilogrammètres est

$$\frac{2\,700\,000}{9{,}81};$$

et le nombre de chevaux-heure est donné par

$$\frac{2\,700\,000}{9{,}81 \times 270\,000} = 1 \text{ cheval-heure.}$$

8° Quel est le travail absorbé pendant 5 minutes par un conducteur présentant une résistance de 0,25 ohm, et parcouru par un courant de 20 ampères.

La loi de Joule nous donne

$$q = RI^2t$$
$$t = 60 \times 5 = 300$$
$$q = 0{,}25 \times 20^2 \times 300 = 30\,000 \text{ watts}$$
$$\frac{30\,000}{9{,}81 \times 270\,000} = 0{,}011 \text{ cheval-heure.}$$

Digitized by Google

Quelle est la quantité de chaleur engendrée par le passage de ce courant ?

$$q = I^2 Rt \times 0{,}24$$

$q = 30\,000 \times 0{,}24 = 7200$ calories gramme-degré, ou 7,200 calories.

Digitized by Google

Digitized by Google

DEUXIÈME PARTIE

PRODUCTION DE L'ÉLECTRICITÉ

CHAPITRE PREMIER

PILES

§ 38. **Théorie de la pile.** — Répétons l'expérience de Volta. Dans de l'eau contenant de l'acide sulfurique plaçons une lame de zinc *pur* et une lame de cuivre séparées l'une de l'autre; il ne se produit aucune action. Réunissons les deux métaux (fig. 33) par un fil métallique extérieur; le zinc est attaqué aussitôt, on voit de l'hydrogène se dégager sur le cuivre, et en approchant une boussole du fil, on constate une déviation indiquant la présence d'un courant électrique.

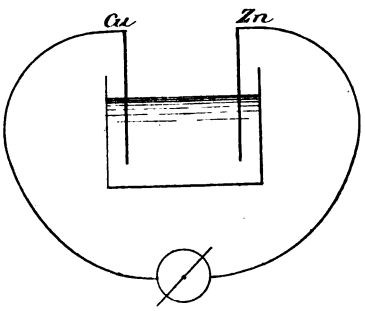


Fig. 33.

Voici comment on peut expliquer ce phénomène :

Soit une molécule d'eau; elle est en équilibre sous l'ac-

Digitized by Google

tion de l'affinité réciproque de l'oxygène et de l'hydrogène *f*. Si l'on ajoute du zinc et de l'acide sulfurique, l'équilibre est détruit. Appelons F l'affinité du zinc pour l'oxygène, et *a* l'affinité de l'acide sulfurique pour l'oxyde de zinc. L'oxygène est attiré par le zinc avec une force $F + a - f$. La molécule de zinc est animée d'une force égale et de sens contraire. Les deux molécules sont entraînées l'une vers l'autre, et les forces qui les poussaient se détruisent mutuellement.

Mais l'hydrogène qui a été mis en liberté est sollicité par une force égale et contraire à celle qui animait l'oxygène. Cette action n'est neutralisée par aucune force opposée, puisque le cuivre et l'hydrogène n'ont pas assez d'affinité pour se combiner dans ces conditions. Il faut absolument qu'elle agisse, qu'elle produise un travail quelconque. Elle donne naissance à la force électromotrice.

Quand les métaux sont séparés, une action électrique se produit; mais elle s'arrête aussitôt, parce que chaque métal prend la tension électrique qui lui est propre, et un état d'équilibre s'établit. Si l'on réunit les deux métaux par un conducteur, chacun d'eux se trouvant à un potentiel différent, un courant s'établit de l'un à l'autre. Ce courant dépend nécessairement des affinités mises en présence, de la quantité de métal attaqué et de la résistance que présentent le liquide et le circuit extérieur. En réunissant les deux métaux à la terre, on obtient également un courant.

L'appareil que nous avons décrit est un *élément* de pile. L'accouplement de plusieurs éléments forme une *pile*. Les *électrodes* sont les deux lames qui baignent dans le liquide. On appelle *rhéophores* ou *conducteurs* les fils qui réunissent extérieurement les électrodes. Les parties extérieures des électrodes auxquelles viennent s'attacher les rhéophores sont les *pôles* de la pile.

Digitized by Google

Afin de simplifier le raisonnement, on est convenu d'adopter un certain sens pour le courant, et l'on suppose qu'il marche du pôle positif, qui est le cuivre, au pôle négatif, qui est le zinc, à travers le conducteur, et du pôle négatif au positif, dans l'intérieur de la pile.

Polarisation. — Dans le couple zinc-cuivre, on voit le courant diminuer rapidement. C'est que l'hydrogène s'accumule sur le cuivre, et par son affinité pour l'oxygène, s'oppose à la décomposition de l'eau. C'est une force contraire à celle qui agit dans la pile et qui tend à recombiner les éléments que l'action chimique avait séparés; il se forme ainsi un courant en sens contraire du premier, ce phénomène se nomme *polarisation*. Pour combattre cet effet, on emploie les dispositions suivantes.

§ **39. Pile Daniell.** — L'élément Daniell est formé de deux liquides séparés par une cloison poreuse : l'un est de l'eau acidulée par de l'acide sulfurique, dans laquelle est plongée une lame de zinc amalgamé; l'autre est une dissolution de sulfate de cuivre contenant une lame de cuivre.

L'eau est décomposée, le zinc s'oxyde et forme du sulfate de zinc; l'hydrogène produit, au lieu de s'accumuler sur la lame positive, décompose le sulfate de cuivre; il s'unit à l'oxygène de l'oxyde de cuivre pour reformer de l'eau, et le cuivre mis en liberté se dépose à l'état métallique.

Le dépôt de cuivre n'exerçant aucune action sur le liquide voisin, l'addition du sulfate de cuivre a eu pour effet d'absorber l'hydrogène et de *dépolariser* la lame de cuivre. L'expérience montre en effet que la force électromotrice de cette pile est très constante. C'est cette force qui représente à peu près le volt, comme nous l'avons vu en parlant des unités électriques (§ 8).

Mais la résistance de cette pile n'est pas constante; car

Digitized by Google

la dissolution de sulfate de zinc va toujours en s'enrichissant, et sa conductibilité augmente.

La solution de sulfate de cuivre va au contraire en s'appauvrissant, et il faut avoir soin d'y ajouter de temps en temps des cristaux, sans que cependant elle soit com-

Fig. 34.

plètement saturée. Le liquide doit avoir toujours une couleur bleue.

En outre, les deux sulfates se mélangent à travers le vase poreux. Ces circonstances modifient la résistance de l'élément.

Un inconvénient résulte encore de ce que le sulfate de cuivre traverse la cloison poreuse et vient en contact avec le zinc. Une certaine quantité de cuivre se dépose à l'état de boue; c'est une dépense en pure perte. Cette action a lieu aussi bien quand le circuit est ouvert que quand il

Digitized by Google

est fermé. La pile consomme donc d'une manière continuelle, même sans avoir de travail utile à produire. Ce défaut se fait d'autant plus sentir que le travail de la pile est plus intermittent et avec de plus longs intervalles de repos; il est assez grave dans les installations téléphoniques ou télégraphiques, et l'on préfère souvent pour ces applications employer des éléments moins constants, mais qui ne consomment que pendant leur période d'action.

Un autre défaut de cette pile est que le vase poreux se recouvre vite de dépôts adhérents de cuivre ayant l'aspect de végétations; les mêmes dépôts se produisent dans l'intérieur du vase et en traversent les cellules. Une communication métallique peut ainsi s'établir entre le cuivre et le zinc. Cette communication se fait aussi par les boues qui s'accumulent au fond du vase. Pour y remédier, on suspend quelquefois le bâton de zinc au milieu du vase poreux, et l'on recouvre de cire le fond du vase.

La pile Daniell présente encore un inconvénient, la formation de sels grimpants. Quand la dissolution de zinc commence à se saturer, elle forme le long du vase extérieur des cristallisations qui peuvent quelquefois établir des communications anormales. Comme la solution de sulfate de zinc à son maximum de saturation est moins conductrice que quand elle est étendue d'eau, le remède indiqué est de maintenir toujours ce liquide dans un état tel qu'il puisse dissoudre tous les cristaux qui se forment sur le vase. Quelquefois, pour empêcher les sels grimpants de déborder du vase de verre, on en enduit la surface supérieure de cire ou de paraffine.

Après six mois de service, une pile Daniell doit être complètement renouvelée.

Pour éviter les soins exigés par le renouvellement du sulfate, on place les cristaux dans un ballon en verre qu'on remplit d'eau (fig. 34); on le ferme avec un bouchon tra-

Digitized by Google

versé par un tube, et on le renverse dans le vase poreux. La dissolution tend à s'écouler en raison de sa densité, et elle maintient le liquide du vase poreux à saturation. On peut ainsi mettre dans la pile la provision de sulfate pour plusieurs mois.

§ **40. Pile Callaud.** — Le vase poreux donne à l'élément Daniell une grande résistance. Cet inconvénient est beaucoup diminué par la disposition Callaud.

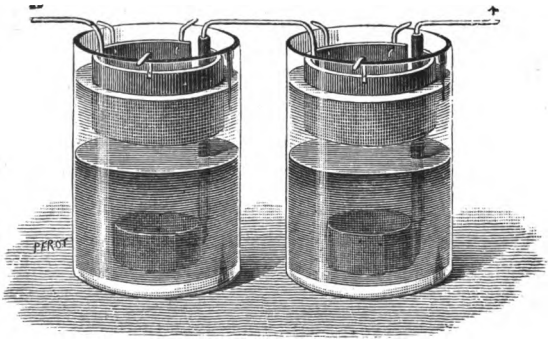


Fig. 35.

Un cylindre de zinc supporté par trois crochets s'appuie sur les bords du verre (fig. 35). Au fond du vase est une bande cylindrique mince de cuivre, fixée à une tige qui se recourbe au-dessus du verre; elle est garantie contre l'action corrosive des liquides par une gaine en gutta-percha. Pour monter l'élément, on verse, presque au niveau supérieur du zinc, de l'eau pure, ou plutôt de l'eau contenant $\frac{1}{10}$ de solution saturée de sulfate de zinc, pour diminuer la résistance intérieure. Avec un siphon on amène au fond une dissolution de sulfate de cuivre marquant 23° à l'aréomètre Baumé.

Digitized by Google

Quand le sulfate s'épuise, on en rajoute, en évitant de le mettre en excès; car la saturation de la dissolution de cuivre favorise la formation de dépôts de cuivre sur le zinc. Quand il se produit sous le zinc des grappes métalliques, on les fait tomber au fond du vase, avant qu'elles arrivent à la couche de séparation des deux liquides. Cette pile, une fois montée, ne doit pas être remuée. Il faut éviter avec grand soin le mélange des deux liquides.

§ **41. Pile O'Keenan.** — Cette disposition (fig. 36) est une modification de la pile Callaud; les liquides s'y renouvellent automatiquement. La batterie est renfermée dans une cuve en bois paraffiné. Chaque élément comporte deux lames de plomb, et une lame de zinc entourée d'une gaine de papier parcheminé ouverte en haut et en bas.

Les liquides superposés d'après leur densité sont au nombre de trois. La couche supérieure A, de 1 à 2 centimètres d'épaisseur, est de l'eau pure. La seconde couche C, qui occupe presque toute la hauteur, est une solution saturée de sulfate de cuivre. Enfin, en bas est une couche Z, de 1 à 2 centimètres d'épaisseur, formée par une solution de sulfate de zinc presque saturée.

Une boîte B munie d'une trémie et percée de trous sert à recevoir les cristaux de sulfate de cuivre. L'eau pure arrive par le robinet R. L'excès d'eau s'écoule par un trop-plein *m*. Quand la solution de sulfate de zinc dépasse son niveau ZZ, elle s'écoule par le tube *t*. Le bout inférieur de ce tube plonge dans un vase nommé *trieur*, contenant du mercure; la hauteur du tube et son immersion dans le trieur sont réglées de façon que la pression du mercure est supérieure ou inférieure à celle du liquide qui le remplit, suivant que c'est du sulfate de cuivre ou du sulfate de zinc. Dans le premier cas, l'écoulement n'a pas lieu; dans le second cas, c'est-à-dire quand le niveau du sulfate de

Digitized by Google

zinc atteint le haut du tube, le liquide s'échappe à travers le mercure. Pour entretenir la pile, il suffit de régler l'arrivée d'eau pure R, et de tenir la boîte B pleine de cristaux de sulfate de cuivre. Quand le circuit est fermé,

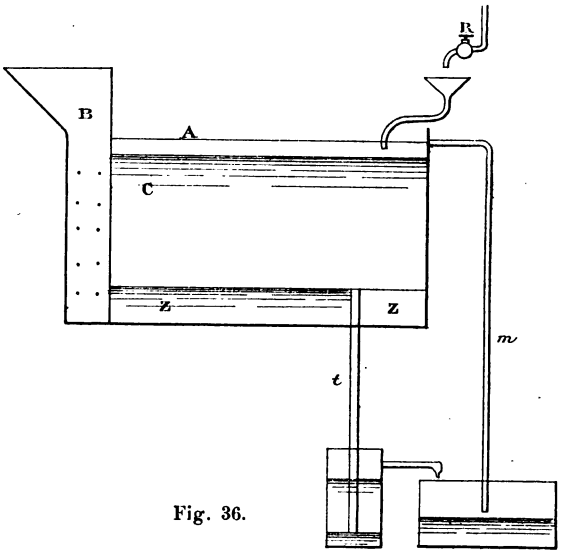


Fig. 36.

le sulfate de cuivre se décompose, le cuivre se dépose sur les lames de plomb.

§ **42. Pile Bunsen.** — Cet élément (fig. 37) est formé d'un vase en grès vernissé V contenant une lame de zinc amalgamé Z, enroulée en cylindre. Un vase poreux P, placé au milieu, renferme un prisme de charbon de cornue C qui constitue le pôle positif. Dans le vase V, on verse de l'eau contenant 8 à 12 parties en poids d'acide sulfurique p. 100 du mélange.

Digitized by Google

Le vase poreux contient le dépolarisant formé d'acide nitrique marquant 36° à 40°. Le zinc se dissout dans l'acide sulfurique, et l'hydrogène produit par la décomposition de l'eau vient réduire l'acide nitrique en formant de l'eau et du bioxyde d'azote.

On remplace quelquefois l'acide nitrique par un

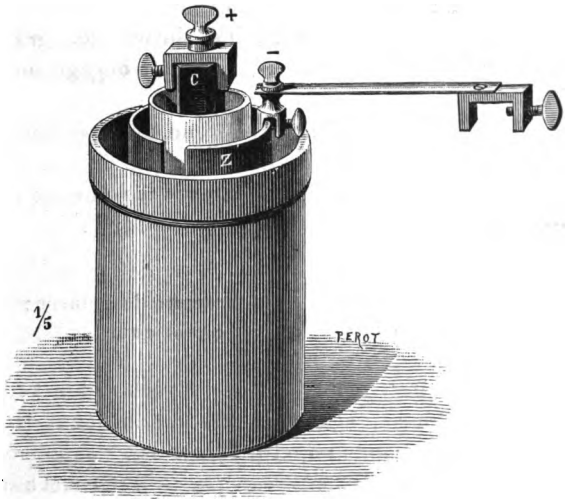


Fig. 37.

mélange comportant 2 parties en poids d'acide nitrique et 5 parties d'acide sulfurique.

La force électromotrice de l'élément Bunsen est de 1,90 volt. L'élément de 0, 20 m. de hauteur présente une résistance de 0,08 à 0,11 ohm.

Quand le degré de l'acide descend vers 28°, il est trop faible, et la pile ne peut plus servir. On dépense donc en pure perte une assez grande quantité d'acide. Toutefois ces déchets peuvent être revendus dans le commerce, mais à bas prix.

Digitized by Google

Un autre inconvénient est le dégagement de vapeurs nitreuses. Aussi doit-on placer ces piles en dehors des ateliers, dans un local bien ventilé.

§ **43. Piles au bichromate de potasse.** — Dans ces éléments, l'oxygène dépolarisant est emprunté à l'acide chromique. Comme il est difficile d'obtenir cet acide libre, on prend un mélange de bichromate de potasse et d'acide sulfurique, dans lequel l'acide chromique, grâce à ses affinités moins puissantes, est bientôt dégagé de sa combinaison.

L'élément Poggendorff comprend un vase contenant un cylindre en zinc et de l'acide sulfurique étendu de 12 fois son poids d'eau. Au centre est un vase poreux contenant un charbon, et rempli du mélange suivant :

100 parties d'eau ;
12 — de bichromate de potasse ;
25 — d'acide sulfurique.

La force électromotrice de cet élément est de 2,028 volts. Ce chiffre très élevé s'observe au début de l'action, mais c'est un maximum, et il baisse assez rapidement.

§ **44.** *Pile Grenet ou pile-bouteille.* — M. Grenet a supprimé le vase poreux et a donné à sa pile la forme d'une bouteille sphérique, fermée par un couvercle en ébonite (fig. 38). Le couvercle porte deux plaques de charbon parallèles K', qui descendent dans le vase, et entre lesquelles est placée une plaque de zinc amalgamé Z attachée par son extrémité supérieure à une tige de laiton. Cette tige glissant à frottement doux permet de plonger plus ou moins le zinc dans le liquide ou de le remonter dans le goulot. Le contact entre le zinc et le charbon est empêché par de petits morceaux de caoutchouc durci. Cette pile a les avantages suivants :

Digitized by Google

Très faible résistance. Polarisation fortement diminuée par la grande surface des charbons. De plus, l'usure du zinc est supprimée à circuit ouvert, parce que l'électrode négative est retirée du liquide lorsque la pile ne fonctionne pas.

L'énergie de la pile baisse assez rapidement. Cet affaiblissement est dû non pas à un effet de polarisation proprement dit, mais surtout à une altération rapide du liquide, et à un dépôt d'oxyde de chrome et d'alun de chrome qui se fait sur l'électrode positive. On remédie à cet inconvénient en agitant le liquide.

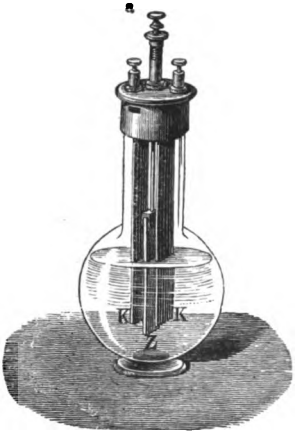


Fig. 38.

§ **45. Piles à oxydes. Pile Leclanché.** — La dépolarisation peut être obtenue avec certains oxydes facilement réductibles, comme le bioxyde de manganèse. C'est sur ce principe qu'est basé l'élément Leclanché.

L'électrode soluble est le zinc, le dépolarisant est le bioxyde de manganèse, et le liquide excitateur est une dissolution de chlorhydrate d'ammoniaque.

Le zinc est attaqué par le chlore et se transforme en chlorure; l'ammoniaque est mise en liberté; quant à l'hydrogène, dont on veut détruire l'action polarisante, il se combine à l'oxygène pour produire de l'eau, en réduisant le peroxyde de manganèse, qui passe à l'état de sesquioxyde.

Il y a deux types d'éléments Leclanché : l'un avec vase poreux; l'autre à agglomérés, sans vase poreux.

Digitized by Google

1° *Élément à vase poreux.* — Ce modèle (fig. 39) comporte un vase en verre prismatique avec goulot cylindrique sur le côté. Ce goulot présente une cavité où se loge le zinc en forme de crayon. Un vase poreux placé au

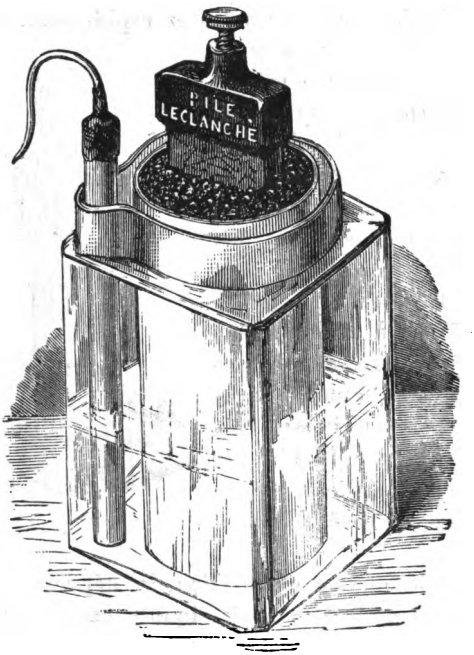


Fig. 39.

centre contient en quantités presque égales du peroxyde de manganèse et du charbon de cornue. Au milieu est une plaque de charbon surmontée d'une tête en plomb. Un bouton de laiton se visse dans cette tête et constitue le pôle positif. Dans le vase en verre on verse une dissolution de sel ammoniac jusqu'à moitié hauteur du vase

Digitized by Google

poreux. Le sel doit être aussi pur que possible, pour empêcher les actions locales. La dissolution doit être concentrée, et il n'y a pas d'inconvénient à mettre un petit excès de sel qui se dissout au fur et à mesure de la consommation.

Il faut autant que possible employer du zinc laminé, ou mieux encore passé à la filière; il doit être amalgamé.

2° *Élément à agglomérés.* — M. Leclanché, pensant que le vase poreux constituait une résistance tout à fait inutile, a construit un modèle dans lequel le bioxyde de manganèse et le zinc baignent dans le même liquide, sans aucun diaphragme. Il forme des plaques agglomérées de charbon et de bioxyde de manganèse, composées de 40 parties de bioxyde, 55 de charbon et 5 de résine gomme laque. Le tout est soumis à une pression de 300 atmosphères, à une température de 100°. Enfin, il ajoute à la masse 3 ou 4 p. 100 de bisulfate de potasse, qui sert à faciliter la dissolution de l'oxychlorure. L'électrode de charbon est placée entre deux de ces plaques qu'elle dépasse à sa partie supérieure, et contre lesquelles elle est serrée par des bagues en caoutchouc.

L'avantage de ce système est de diminuer la résistance de la pile et d'en simplifier la construction. On a, en outre, la facilité de changer les plaques sans perdre le charbon. Il n'y a que le zinc et l'aggloméré qui se détruisent.

On peut diminuer à volonté la résistance des éléments en employant une, deux ou trois plaques d'aggloméré. M. Leclanché indique la force électromotrice de l'élément à vase poreux comme égale à 1,38 volt. Il donne 1,6 pour la pile à aggloméré.

Mais ces chiffres s'appliquent à l'élément nouvellement monté. La force diminue dès que la pile est en fonction, par suite de la polarisation qui n'est pas complètement évitée; la force décroît même très rapidement quand la

Digitized by Google

résistance du circuit extérieur est faible; mais elle reprend sa valeur première après quelques instants de repos. La polarisation est, au contraire, très lente si le circuit offre une grande résistance. Elle devient peu sensible, si la pile ne fonctionne que d'un manière intermittente, comme dans la télégraphie, la téléphonie et les sonneries.

Le grand avantage de cet élément est de ne rien consommer à circuit ouvert et de reprendre par le repos sa force primitive. De plus, les matières qui entrent dans sa composition sont d'un prix peu élevé et ne gèlent pas par des froids fort rigoureux.

La durée de la pile est très longue. Bien entretenue, elle peut durer deux ou trois ans, sans exiger d'autres soins que l'addition d'un peu de sel ammoniac. On en prépare une dissolution qu'on ajoute au fur et à mesure des besoins.

Pour empêcher des cristaux grimpants de se former le long du vase, on enduit de paraffine la paroi interne qui dépasse le niveau du liquide.

On doit veiller aux zincs qui se coupent souvent au niveau du liquide; dans ce cas, il faut les remplacer.

Quand une tête de plomb du charbon se recouvre d'oxyde de plomb blanc, il faut remplacer l'élément; sinon toute la batterie se trouverait arrêtée.

L'entretien des piles à agglomérés est le même. Il faut veiller à ce que le niveau du liquide se maintienne à la partie supérieure des plaques, pour éviter les ruptures des bagues en caoutchouc.

§ 46. **Pile à oxyde de cuivre de MM. de Lalande et Chaperon.** — Dans cette pile, le zinc constitue toujours l'électrode soluble; mais il n'y joue pas tout à fait le même rôle que dans les systèmes étudiés précédemment. L'élément comporte une tige en zinc au pôle négatif; un

Digitized by Google

liquide excitateur formé par une solution de potasse caustique à 30 ou 40 p. 100; et de l'oxyde de cuivre mis en contact direct avec une lame de fer ou de cuivre. Cet oxyde sert de dépolarisant, tandis que la lame de fer ou de cuivre représente le pôle positif.

Le circuit étant fermé, l'eau est décomposée, l'oxygène se porte sur le zinc et donne de l'oxyde de zinc qui forme avec l'alcali un zincate de potasse très soluble. Quant à

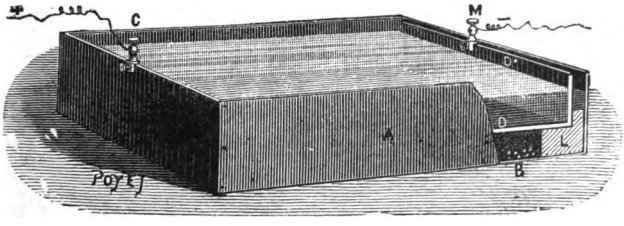


Fig. 40.

l'hydrogène, il réduit l'oxyde de cuivre et précipite le cuivre à l'état métallique.

Cette pile présente ce grand avantage qu'à circuit ouvert aucune réaction ne se produit, le zinc et le cuivre n'étant pas attaqués par la potasse. La consommation n'a donc lieu qu'en proportion du travail à accomplir.

La pile est construite d'après différents types.

L'élément *à auge* (fig. 40), par exemple, se compose d'une boîte plate A en tôle de fer, dont le fond est recouvert d'oxyde de cuivre. A la paroi de cette auge est fixée une borne C qui forme le pôle positif; aux quatre angles sont disposés de petits tasseaux L en terre, qui supportent une plaque de zinc amalgamé D et servent en même temps d'isolants. A cette plaque est fixée la borne M du pôle négatif. Cette disposition permet de donner une grande surface à la pile sans qu'elle devienne encombrante.

Digitized by Google

La force électromotrice de l'élément à oxyde de cuivre est 0,8 à 0,9 volt. La résistance est très faible et peut être etsimée à 1/3 d'ohm environ pour des surfaces polaires d'un décimètre carré, distantes de 5 centimètres.

La transformation de la potasse en zincate alcalin ne fait pas varier sensiblement la résistance de la solution alcaline, et la réduction progressive de l'oxyde de cuivre à l'état de métal en augmente la conductibilité. Aussi l'élément possède-t-il une constance remarquable.

ACCOUPLEMENT DES ÉLÉMENTS DE PILE

§ 47. **Tension. Quantité.** — Les éléments d'une pile peuvent être accouplés en tension, ou en quantité, ou d'une façon mixte.

Quand on relie plusieurs éléments identiques en *tension* ou *série*, de façon que le pôle + de l'une soit attaché au

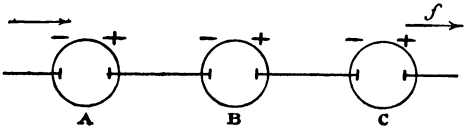


Fig. 41.

pôle — de l'autre, l'expérience montre que la force électromotrice totale est proportionnelle au nombre des éléments; il en est de même pour la résistance intérieure. Si la force électromotrice d'un élément est e, et sa résistance r, 3 éléments donneront une force électromotrice égale à 3 e et une résistance égale à 3 r.

Voici comment on peut se rendre compte de ce phénomène.

Si nous unissons en série les deux éléments A et B,

Digitized by Google

que nous supposons identiques, la force *e* de A, agissant dans le sens de la flèche *f* (fig. 41), viendra s'ajouter à celle qui se développe en B et qui est elle-même égale à *e*. Entre les deux éléments B et C nous aurons donc une force égale à 2 *e*. Cette force vient encore s'ajouter à celle qui se produit en C. On aura donc finalement sur le conducteur extérieur une force égale à 3 *e*. C'est la force électromotrice totale de la pile.

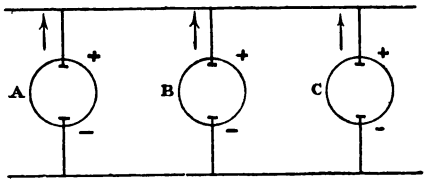


Fig. 42.

Si on relie les éléments en *quantité* (fig. 42), c'est-à-dire d'un côté tous les pôles positifs et de l'autre tous les négatifs, l'effet est différent. Comme le prouve l'expérience, le résultat est identique à celui qu'on obtiendrait en prenant un seul élément d'une surface 3 fois plus

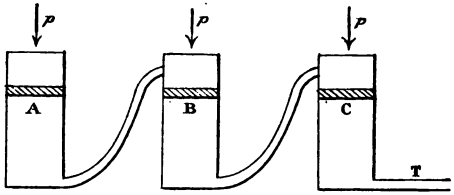


Fig. 43.

grande; la résistance intérieure est 3 fois plus petite que celle d'un élément; mais la force électromotrice reste égale à celle d'un seul élément.

Digitized by Google

Ces phénomènes peuvent être rendus sensibles de la façon suivante :

Supposons trois corps de pompe de même diamètre munis chacun d'un piston, et communiquant entre eux comme l'indique la figure 43. Si, sur tous les pistons à la fois, on exerce mécaniquement la pression p, la pression sera :

En A 1 p,
— B 2 p,
— C 3 p;

et au tuyau de sortie T on aura une pression 3 p.

Si nous adoptons la disposition de la figure 44, nous aurons la même pression p en A, B, C et sur le tuyau T

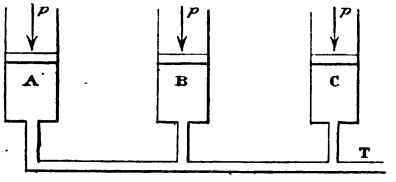


Fig. 44.

Le volume refoulé dans un corps de pompe étant v; pour le premier cas le volume total sera v; dans le deuxième cas il sera 3 v.

Appelons e la force électromotrice d'un élément,
r sa résistance intérieure,
E la force électromotrice totale pour n éléments,
R la résistance totale de la pile,
R' la résistance du circuit extérieur,
I l'intensité.

1° Supposons tous les éléments groupés en tension.

$$E = ne$$
$$R = nr$$

Digitized by Google

et d'après la loi de Ohm :

$$I = \frac{ne}{nr + R'}. \qquad (1)$$

2° Supposons tous les éléments groupés en quantité.

$$E = e$$

$$R = \frac{r}{n}$$

$$I = \frac{e}{R' + \frac{r}{n}} = \frac{ne}{nR' + r}. \qquad (2)$$

Si dans la formule (1) on suppose R' très petit par rapport à la résistance de la pile, on a à peu près :

$$I = \frac{ne}{nr} = \frac{e}{r}.$$

On obtient donc presque la même intensité avec la série qu'avec un seul élément. Donc avec une résistance très faible à vaincre, il n'y a pas d'intérêt à grouper les éléments en tension.

Si R' est très grand par rapport à r, on peut écrire :

$$I = \frac{ne}{R'}.$$

Il faut donc dans ce cas grouper les éléments en tension. Si dans la formule (2) R' est assez petit pour que n R' soit négligeable, on a à peu près :

$$I = \frac{ne}{r}.$$

Dans ce cas, l'intensité est proportionnelle au nombre des éléments réunis en quantité; cette disposition est avantageuse.

Si R' est très grand, on peut écrire :

$$I = \frac{ne}{nR'} = \frac{e}{R'}.$$

Digitized by Google

Il n'y a pas d'intérêt à grouper les éléments en quantité.

En résumé : Quand la résistance extérieure est très grande par rapport à celle de la pile, il faut grouper les éléments en tension ; si elle est faible, il faut les grouper en quantité.

Exemples. — 1° Quelle est l'intensité du courant produit par 10 éléments Bunsen montés en tension sur un circuit présentant 5 ohms de résistance ?

La force électromotrice d'un élément est 1,9 volt, et sa résistance 0,24 ohm.

Appliquons la formule (1) :

$$I = \frac{10 \times 1,9}{10 \times 0,24 + 5} = \frac{19}{7,4} = 2,57 \text{ ampères.}$$

2° Combien doit-on réunir d'éléments Bunsen en quantité pour obtenir une intensité de 12 ampères dans un circuit ayant une résistance de 0,08 ohm ?

Appliquons la formule (2) :

$$12 = \frac{n \times 1,9}{n \times 0,08 + 0,24}$$

$$n = \frac{12 \times 0,24}{1,9 - 0,96}$$

$$n = 3,06.$$

On prendra le nombre entier 3 qui est très rapproché de 3,06. Il faut 3 éléments Bunsen.

§ 48. **Accouplement mixte.** — Au lieu de grouper tous les éléments en série ou en quantité, on peut adopter des combinaisons intermédiaires, former plusieurs séries qu'on réunit ensuite en quantité. On doit se baser sur la règle suivante démontrée par le calcul et l'expérience :

On obtient l'intensité maximum quand la résistance de la pile est égale à celle du circuit extérieur.

Étant donné un nombre d'éléments N, cherchons com-

Digitized by Google

ment il faut les grouper pour avoir l'intensité maximum. Adoptons la même notation que ci-dessus. Assemblons x éléments en série; le nombre des dérivations y est donné par :

$$y = \frac{N}{x}. \qquad (1)$$

La force électromotrice totale est $x\ e$.

La résistance de la pile est donnée par :

$$R = r \times \frac{1}{y} \times x$$

$$R = \frac{r}{y} \times \frac{N}{y} \times \frac{rN}{y^2}. \qquad (2)$$

Égalons cette résistance à celle du circuit :

$$\frac{rN}{y^2} = R'$$

$$\text{d'où } y = \sqrt{\frac{rN}{R'}}. \qquad (3)$$

Ces équations permettent de déterminer x et y.

Exemple (1). — Comment doit-on grouper 200 éléments Bunsen sur un circuit ayant une résistance de 10 ohms, pour obtenir le maximum d'intensité ?

Supposons qu'on assemble x éléments en série et que le nombre de dérivations soit y; la résistance totale de la pile sera donnée par l'équation (2) :

$$R = \frac{0{,}24 \times 200}{y^2}.$$

y se calcule en appliquant la formule (3) :

$$y = \sqrt{\frac{0{,}24 \times 200}{10}} = 2{,}2.$$

On choisira le nombre entier le plus rapproché de 2, 2, qui est 2 ;

Digitized by Google

$\frac{200}{2}$, soit 100, nous indique le nombre d'éléments à grouper en série ; et l'on assemblera deux séries semblables en quantité.

La force électromotrice est $100 \times 1{,}9 = 190$ volts.

L'intensité est $\dfrac{190}{10 + \dfrac{0{,}24 \times 200}{2^2}} = 8{,}6$ ampères.

Quand le nombre d'éléments de la batterie n'est pas *déterminé à l'avance*, la même règle que ci-dessus est encore applicable.

Exemple (2). — Un circuit présentant une résistance de 4 ohms, combien d'éléments Bunsen devra-t-on prendre, et comment les groupera-t-on pour obtenir une intensité de 10 ampères ?

Soit N le nombre total d'éléments, x le nombre d'éléments groupés en série et y le nombre de dérivations. On a les 3 équations suivantes, dans lesquelles N, x et y sont inconnus :

$$N = xy$$

$$y = \sqrt{\frac{0{,}24\ N}{4}}$$

$$10 = \frac{1{,}9\ x}{4 + \dfrac{0{,}24\ N}{y^2}}.$$

En résolvant ces équations on trouve :

$$x = 42$$

$$y = 0{,}06 \times 42 = 2{,}5.$$

Prenons pour y le nombre entier le plus rapproché au-dessus de cette valeur.

$$y = 3 \qquad \text{et } N = 126.$$

On devra donc prendre 126 éléments groupés en 3 dérivations comprenant chacune 42 éléments.

Quand, au lieu de s'imposer la résistance du circuit extérieur, on se donne la différence de potentiel aux bornes

Digitized by Google

de ce circuit, on peut procéder autrement. Prenons la formule de Ohm :

$$I = \frac{E}{R}.$$

on en tire :

$$E = I\,R.$$

C'est-à-dire que sur un même circuit les différences de potentiel E sont proportionnelles aux résistances R. Nous avons vu précédemment que l'intensité maximum est obtenue quand la résistance du circuit extérieur est égale à celle de la pile ou à la moitié de la résistance totale. En ce cas, la différence de potentiel aux bornes du circuit est égale à la moitié de la force électromotrice. On a donc la règle suivante :

On obtient l'intensité maximum, quand la différence de potentiel aux bornes du circuit extérieur est égale à la moitié de la force électromotrice.

Exemple (3). — Combien doit-on prendre d'éléments Bunsen, sachant que l'on doit avoir aux bornes du circuit extérieur une différence de potentiel de 50 volts; la résistance du circuit est 4 ohms?

Écrivons que la force électromotrice de la pile est le double de 50. Soit x le nombre d'éléments réunis en tension, et y en quantité :

$$x \times 1{,}9 = 2 \times 50$$

$$x = \frac{100}{1{,}9} = 52.$$

Écrivons que la résistance de la pile est égale à celle du circuit :

$$\frac{0{,}24 \times x}{y} = 4\,;$$

d'où l'on tire $y = 3$. Il faudra 156 éléments.

Digitized by Google

Exemple (4). — Combien faut-il prendre d'éléments Bunsen, et comment les groupera-t-on pour alimenter 10 lampes placées en dérivation, exigeant chacune 50 volts et 0,70 ampère ?

On a d'abord

$$N = x\,y\ (1).$$

Les lampes étant toutes en dérivation, l'intensité totale est

$$10 \times 0{,}70 = 7 \text{ ampères.}$$

La différence de potentiel indiquée aux bornes est 50 volts.

On a d'après la loi de Ohm.

$$I = \frac{E}{R}$$

$$7 = \frac{50}{R}$$

$$R = \frac{50}{7} = 7{,}1 \text{ ohms.}$$

La résistance de la pile est

$$\frac{x \times 0{,}24}{y}.$$

Égalons ces 2 résistances :

$$\frac{x \times 0{,}24}{y} = 7{,}1. \quad (2)$$

Écrivons que la force électromotrice de la pile est égale au double de la différence de potentiel aux bornes :

$$2 \times 50 = 1{,}9 \times x. \quad (3)$$

De ces trois équations on tire

$$x = 52{,}6, \text{ soit } 53$$

$$y = 1{,}8, \text{ soit } 2$$

$$N = 106.$$

Digitized by Google

La pile comprendra 106 éléments, avec 2 dérivations comportant chacune 53 éléments en série.

§ 49. **Choix des piles suivant leurs applications.** — Les considérations suivantes serviront pour guider dans le choix d'une pile, selon le travail qu'on a à fournir. Quand on a besoin d'une grande force électromotrice, on doit choisir les piles du genre Bunsen, ou celles au bichromate. L'inconvénient des premières est de dégager des vapeurs nitreuses. Celles au bichromate coûtent cher, à cause du prix des matières premières.

Pour la galvanoplastie sur une petite échelle, dorure, argenture, aciérage, platinage, etc., quand on ne veut qu'une faible force électromotrice, il faut employer les éléments du genre Daniell. Ils fournissent un courant assez constant, et leur entretien, quoique minutieux, est peu dispendieux.

On peut se servir également des piles Bunsen pour le même usage quand on désire une force électromotrice plus considérable. Avec les piles Daniell, on serait amené à augmenter le nombre d'éléments en tension pour produire le même effet.

Les piles ne conviennent pas pour la galvanoplastie en grand ou l'électro-métallurgie, à cause de leur prix de revient, de l'emplacement et des soins qu'elles nécessitent. Dans ce cas, il faut se servir des dynamos.

Pour un service discontinu, sonneries, signaux, etc., les éléments Leclanché conviennent très bien. Ils ne consomment que pendant la période de travail et ils se reforment dans les temps d'arrêt. Ils coûtent peu d'entretien.

Pour la télégraphie, où les piles ne travaillent pas d'une façon continue, on emploie les éléments Daniell, Callaud, Fuller, de Lalande, Meidinger, Leclanché.

Pour la téléphonie, on se sert des éléments Leclanché, de Lalande.

Digitized by Google

Pour l'inflammation des mines et des torpilles, on prend les piles Leclanché et celles au bichromate.

Pour les laboratoires et les usages médicinaux, où l'on ne cherche pas l'économie, les piles au bichromate sont avantageuses.

En général, pour produire de la lumière, il ne faut pas s'adresser aux piles. Le prix de revient est trop élevé. Les dynamos seules ou les accumulateurs doivent être employés.

§ **50. Entretien des piles. Amalgamation des zincs.** — Lorsque dans de l'eau acidulée on plonge du cuivre et du zinc *impur*, une vive action se produit, sans que les deux métaux soient réunis par un conducteur extérieur.

Avec du zinc pur cet effet ne se produit pas; la fermeture du circuit est nécessaire. Le zinc impur amalgamé se comporte comme le zinc pur.

L'attaque du zinc impur s'explique en admettant qu'il se forme sur le métal une foule de couples locaux entre le zinc et les impuretés qu'il contient. Le mercure a pour effet d'empêcher ces actions secondaires. On y a recours, parce que l'amalgamation est très facile et très économique à produire, tandis que le zinc pur coûte fort cher.

Grâce à ce perfectionnement, la pile ne s'use pas beaucoup quand le circuit est ouvert; on peut donc réaliser une grande économie sur la dépense et, en outre, la force électromotrice paraît un peu augmentée.

Pour amalgamer les zincs, on verse dans un vase plat de l'eau contenant 1/16 d'acide sulfurique en volume et du mercure. Puis on frotte le métal avec une brosse en fils de cuivre, jusqu'à ce que toute la surface soit brillante.

On peut encore employer le procédé suivant : on passe d'abord les zincs dans une solution de potasse pendant quelques minutes pour les dégraisser, puis on les plonge

Digitized by Google

pendant 10 à 15 secondes dans un liquide formé comme il suit :

Bisulfite de mercure.....	100	grammes.
Eau.....	900	—
Acide sulfurique....	150 à 200	—

Le bisulfite doit être au préalable dissous dans l'eau acidulée. On retire les zincs et on les frotte de façon que les surfaces deviennent brillantes. On répète au besoin l'opération une seconde fois. La même solution peut servir de nouveau en remplaçant simplement le liquide enlevé.

En décrivant chaque type, nous avons indiqué les soins à prendre pour l'entretien des éléments; voici quelques recommandations générales s'appliquant à tous les systèmes :

Entretenir les éléments dans le plus grand état de propreté et éviter l'humidité à l'extérieur.

Gratter les zincs quand ils se recouvrent de sels, mais non les laver.

Ne pas mouiller les zincs ni les fils qui y sont soudés, ni les serre-fils.

Nous avons vu que, pour éviter les sels grimpants, on paraffinait les bords intérieur et extérieur du vase en verre. Il est bon de faire de même pour la tête du zinc.

Les pinces et les serre-fils doivent être toujours maintenus dans le plus parfait état de propreté, le mauvais fonctionnement des batteries provenant presque toujours de contacts défectueux.

Pour s'assurer de l'état d'un élément de pile, on se sert souvent dans les compagnies de chemins de fer d'un petit appareil trembleur fort commode, réglé de manière à vibrer avec un seul élément en bon état. Cet appareil

Digitized by Google

est contenu dans une boîte, et porte une aiguille semblable à celle d'un galvanomètre, qui permet de constater le sens du courant. Des fils renfermés dans la boîte servent à établir la liaison avec les pôles des piles.

Digitized by Google

CHAPITRE II

MACHINES ÉLECTRIQUES

THÉORIE

Les machines électriques servent à transformer l'énergie mécanique en énergie électrique. Dans ce but, on utilise les courants d'induction dont nous avons exposé les lois § 16. C'est en déplaçant un circuit dans un champ magnétique qu'on donne naissance à un courant. Ce champ peut être produit par un aimant permanent ou par un électro-aimant; il existe donc deux catégories de machines : les *magnétos* et les *dynamos*. Pour exposer la théorie des machines, nous prendrons comme exemple celle de Gramme.

§ **51. Théorie de l'anneau Gramme.** — L'anneau Gramme est formé d'un anneau en fer doux, autour duquel sont enroulées des bobines de cuivre isolées, placées à côté l'une de l'autre. Cet anneau, muni de ses bobines (fig. 45), tourne dans le sens des flèches en face des pôles d'un aimant N S. Sous son action, le fer doux s'aimantera et prendra deux pôles N′, S′, opposés à ceux de l'aimant. Nous aurons donc toujours deux champs magnétiques NS′, N′S, fixes; et les choses se passeront comme si, l'anneau et l'aimant restant immobiles, les bobines seules se déplaçaient dans le sens des flèches. Considérons une bobine; plaçons un observateur sur le fil, les pieds en *p* et la tête en *t*, et tourné de manière que le mouvement

Digitized by Google

ait lieu vers sa droite, il regardera à l'extérieur de l'anneau, c'est-à-dire dans le sens négatif des lignes de force.

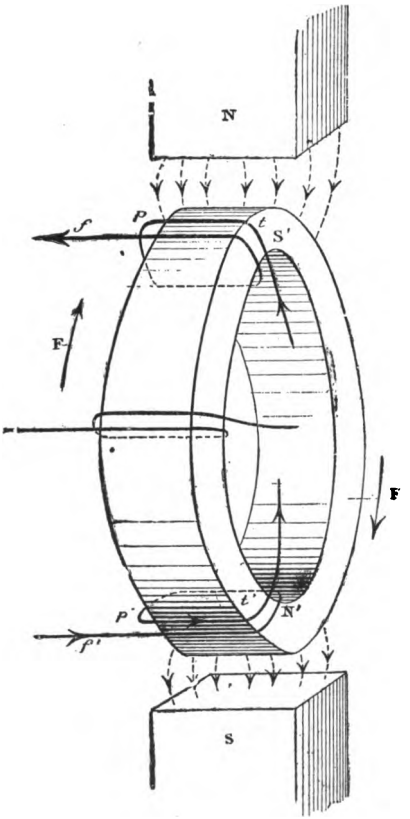


Fig. 45.

Le courant entrera donc par sa tête suivant la direction *f*.

Supposons que la même spire ait fait une demi-révolu-

Digitized by Google

tion, et faisons tourner l'observateur en même temps ; il aura les pieds en p' et regardera toujours vers l'extérieur de l'anneau. Mais dans cette position la direction des lignes de force a changé, et l'observateur est tourné dans le sens positif. Le courant entrera donc par ses pieds suivant la direction f'.

Ainsi dans ces deux positions diamétrales de la spire, les courants induits sont de sens contraires. Supposons la spire exécutant une révolution complète, et l'observateur regardant toujours vers l'extérieur de l'anneau, de façon que le mouvement se fasse toujours à sa droite, on voit que le sens du courant induit changera quand la direction des lignes de force se modifiera par rapport à l'observateur. Ces lignes vont de l'extérieur à l'intérieur dans la demi-circonférence supérieure, et de l'intérieur à l'extérieur dans la demi-circonférence inférieure. Leur sens change donc dans le plan horizontal perpendiculaire à la ligne des pôles NS, et c'est aussi dans ce plan que change le sens des courants induits.

En résumé, dans les deux demi-circonférences, on a deux courants de sens contraires, et dans le plan diamétral horizontal deux zones *neutres* dans lesquelles il n'y a pas de courant. L'intensité partant de o, augmente jusqu'à ce qu'elle atteigne un maximum dans la ligne des pôles ; puis elle décroît jusqu'à ce qu'elle revienne à o dans la zone neutre.

L'action se produit dans chaque tour de la même bobine, et se trouve multipliée par le nombre de tours que fait le fil.

Le même raisonnement est applicable à toutes les bobines. Toutes celles qui sont en face du pôle N sont parcourues à la fois par un courant direct, et celles de l'autre moitié par un courant inverse.

Si nous rattachons les bobines entre elles de façon que

Digitized by Google

la fin de l'une soit reliée au commencement de la suivante, comme l'indique la figure 46, nous totaliserons tous les courants produits dans chaque moitié de l'anneau.

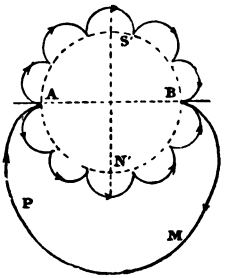


Fig. 46.

Si, maintenant, aux deux zones neutres A, B, nous faisons aboutir les extrémités d'un circuit extérieur MP, les deux courants s'ajouteront en quantité dans le conducteur.

L'effet est analogue à celui qui se passe dans deux piles associées en quantité. Si l'on réunit simplement les pôles de même nom on n'obtient aucun courant. Mais si les points de jonction sont rattachés entre eux par un conducteur extérieur, on totalise dans ce circuit les actions de chaque élément, comme nous l'avons vu dans l'accouplement en quantité § 47.

§ **52. Anneau. Collecteur. Balais.** — La figure 47 montre un anneau Gramme dénudé en partie et coupé transversalement. Le noyau de fer A est formé d'un faisceau annulaire en fils de fer doux. Sur ce noyau sont enroulées les bobines en fil de cuivre isolé B.

L'arbre de rotation de l'anneau (supprimé sur la figure) porte une série de lames de cuivre R, disposées de manière à former, par leur ensemble, un cylindre entourant l'arbre. Ce cylindre constitue le *collecteur*. Les lames, isolées les unes des autres, sont en nombre égal à celui des bobines. A chaque bande de cuivre on attache le bout finissant d'une bobine et le bout commençant de la suivante. Chaque plaque sert de liaison entre deux bobines consécutives. Si donc on établit à poste fixe deux contacts sur les génératrices placées dans la zone neutre, on recueille en ces points le courant total de l'anneau. Dans

Digitized by Google

ce but on emploie les *balais*. Ce sont deux ressorts frotteurs formés d'un faisceau méplat de fils de cuivre, que l'on appuie sur le collecteur, et qui sont attachés à des bornes formant les pôles de la machine.

On admet, comme pour la pile, que le courant va, dans le circuit extérieur, du balai positif au balai négatif.

Si les balais ne touchaient qu'une seule lame du collec-

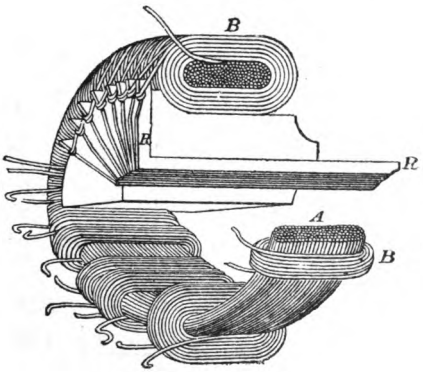


Fig. 47.

teur, il y aurait interruption du courant quand ils frotteraient sur un joint. Aussi les balais sont-ils disposés pour toucher plusieurs lames voisines.

§ **53. Lois des machines électriques.** — La production de l'électricité dans les machines est réglée par les lois suivantes, qui sont les mêmes que celles des phénomènes d'induction :

1° La force électromotrice induite est proportionnelle à l'intensité du champ magnétique ;

2° Elle est proportionnelle à la longueur du fil des bobines induites ;

Digitized by Google

3° Elle augmente avec la vitesse de rotation.

§ **54. Différents modes d'excitation.** — Dans la théorie de l'anneau Gramme, nous avons supposé l'existence d'un champ magnétique inducteur, sans dire comment il était produit. Il peut être formé d'un aimant permanent, c'est le cas des *magnétos*. Il peut encore être engendré par des électro-aimants, c'est ce qui constitue les *dynamos*.

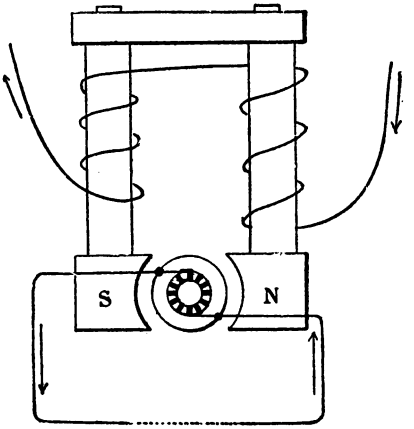


Fig. 48.

Les magnétos offrent cet avantage que leur force électromotrice est à peu près proportionnelle à la vitesse de rotation, et elle est indépendante du circuit extérieur. Elles ont l'inconvénient d'exiger des dimensions plus grandes que les dynamos, parce que, à proportions égales des pièces, l'aimantation permanente de l'acier n'atteint pas le même degré que l'aimantation produite sur le fer doux par les électro-aimants.

1° *Excitation indépendante.* — Les dynamos se dis-

Digitized by Google

tinguent les unes des autres par le mode d'excitation de leur champ magnétique, suivant que cette excitation est produite par une machine séparée ou par la dynamo elle-même.

Dans le premier cas, la machine est dite *à excitation indépendante*. Avec ce système (fig. 48), comme avec les magnétos, la force électromotrice n'est pas influencée par les changements de résistance du circuit extérieur. L'intensité du champ magnétique dépend uniquement du courant excitateur, que l'on peut régler à volonté ; mais il a l'inconvénient d'exiger une machine excitatrice séparée.

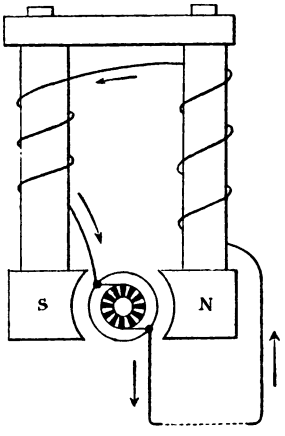


Fig. 49.

Ce système est nécessaire avec les dynamos à courants alternatifs, à moins qu'on ne se serve d'un commutateur pour redresser les courants avant de les envoyer dans les inducteurs.

2° *Excitation en série.*— L'excitation des électro-aimants est produite dans ce cas par le courant lui-même. Si le courant total traverse les électro-aimants, la machine est dite *auto-excitatrice*, *à excitation simple* ou en *série* (fig. 49).

Avec ce mode d'excitation, la force électromotrice diminue quand la résistance du circuit extérieur augmente, la vitesse étant supposée constante. En effet, l'augmentation de résistance amoindrit l'intensité du courant, et, par suite, l'intensité du champ magnétique. La force électromotrice de la dynamo s'affaiblit donc juste quand la

Digitized by Google

résistance augmente, c'est-à-dire au moment où l'on aurait besoin d'un accroissement.

En outre, cette disposition a l'inconvénient de ne rien produire tant que la rotation n'atteint pas une certaine vitesse, ou que la résistance extérieure n'est pas inférieure à une limite déterminée. Or, les lampes à incandescence sont moins conductrices à froid qu'à chaud; la résistance, au début, peut donc être trop forte, et l'on est forcé, pendant les premiers tours, de fermer la dynamo en court-circuit, ce qui peut détériorer ses organes.

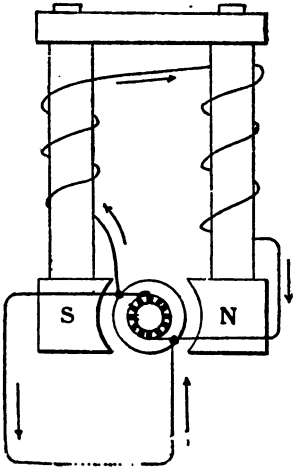


Fig. 50.

Enfin, cette dynamo est sujette aux renversements de polarité quand on l'emploie à des décompositions électrolytiques ou à la charge d'accumulateurs; nous reviendrons plus tard sur ce sujet.

Le principe de l'auto-excitation repose sur le magnétisme rémanent. Si le fer qui forme les noyaux des électros était parfaitement pur et ne présentait pas de trace d'aimantation, le mouvement de l'anneau Gramme ne produirait aucun courant induit. Mais, au moment où ce mouvement commence, les noyaux possèdent un magnétisme *rémanent* qui donne naissance à un courant, très faible, il est vrai, mais suffisant pour amorcer l'excitation des électros. Ceux-ci peuvent à leur tour agir sur la bobine, et il se produit ainsi une série de réactions successives qui augmentent l'intensité du courant jusqu'à ce qu'elle ait atteint sa valeur de régime. Ces opérations se passent d'ailleurs

Digitized by Google

en un temps infiniment court. Dans ce but les noyaux des électros peuvent être faits en fonte ou en acier.

3° *Excitation en dérivation.* — Dans ce système (fig. 50), les électro-aimants sont alimentés par une dérivation prise sur le circuit extérieur. Avec cette dynamo, un accroisse-

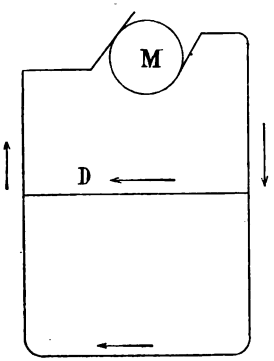


Fig. 51.

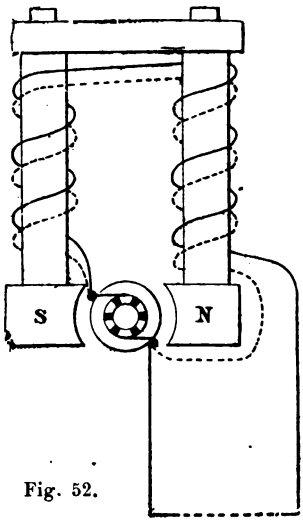


Fig. 52.

ment de résistance dans le circuit extérieur produit, contrairement à ce que l'on a vu plus haut, une augmentation de force électromotrice; car alors l'intensité augmente dans la dérivation, et le champ magnétique devient plus puissant. Cette machine est toujours excitée, quel que soit le circuit extérieur, et alors même qu'il n'existerait pas. Enfin, elle n'est pas sujette aux renversements de polarité; car le courant conserve toujours le même sens dans la dérivation. Comme le montre la fig. 51, quel que soit le sens du courant fourni par la dynamo M, il garde le même sens dans la dérivation D.

Digitized by Google

4° *Excitation en double circuit ou compound.* — Nous avons vu qu'avec l'excitation en série, la force électromotrice diminue quand on augmente la résistance extérieure, et qu'elle augmente, au contraire, avec l'excitation dérivée; on conçoit donc qu'en combinant les deux systèmes, on puisse annuler ces variations ou tout au moins les réduire beaucoup. C'est le but de l'*excitation en double circuit ou compound* (fig. 52). Les électros sont excités en partie par le courant principal, en partie par une dérivation prise sur les bornes de la machine. Le premier circuit est en gros fil, le second en fil fin. L'ordre et les longueurs de leurs enroulements varient avec les types de machines, mais ils sont établis de façon que les différences de potentiel aux bornes soient réduites au minimum.

Quand on emploie l'éclairage par lampes à incandescence, il est utile qu'on puisse, à volonté, éteindre ou allumer des lampes, suivant le besoin, sans déranger la marche des autres et sans qu'il soit nécessaire de prévenir le mécanicien. Les machines compound permettent de réaliser ce programme; elles fournissent, sans qu'on change la vitesse, une différence de potentiel constante aux bornes de la machine, quel que soit le nombre de foyers allumés.

Mais ce système a quelques inconvénients; il exige que l'anneau conserve rigoureusement la vitesse pour laquelle les inducteurs ont été calculés, si l'on veut une différence de potentiel constante aux bornes.

Machines multipolaires. — Au lieu d'adopter deux pôles magnétiques, comme dans la machine Gramme que nous venons de décrire, on peut en disposer un plus grand nombre, en les plaçant deux par deux aux extrémités d'un même diamètre. Les bobines induites traversent les différents champs magnétiques et subissent dans chacun d'eux une action analogue à celle qui a été exposée pré-

Digitized by Google

cédemment. Elles peuvent donc être animées d'une vitesse moindre, ou donner un courant plus énergique si on leur conserve la même vitesse.

Il faut mettre autant de paires de balais qu'il y a de champs magnétiques différents.

Les dynamos prennent le nom de *duplex*, *quadruplex*... suivant le nombre de leurs doubles pôles.

§ 55. **Machines à courant continu, à courants alternatifs et à courants redressés.** — La disposition du collecteur Gramme donne dans les balais un courant dont le sens est toujours le même. La dynamo est donc à *courant continu*.

Dans d'autres machines, au contraire, les courants sont pris tels qu'ils sont développés dans les bobines induites. Comme ils changent de sens dans chaque bobine au moment où celle-ci passe d'un champ magnétique dans un autre, le courant résultant se modifie aussi en même temps, et l'on a une machine à *courants alternatifs*.

Supposons un anneau ne comportant qu'une seule bobine. Le courant passera par zéro et changera de sens chaque fois que la bobine traversera la ligne neutre. Si l'on dispose un commutateur spécial redressant ce courant deux fois par tour, on aura dans le circuit un courant toujours de même sens. Ces machines sont à *courants redressés*.

Machines à électros mobiles. — Dans quelques machines les bobines induites sont fixes et les inducteurs sont mobiles. La théorie est toujours la même que pour les machines à électros fixes.

§ 56. **Réversibilité des machines électriques**. — Les machines électriques jouissent d'une propriété fort importante. Elles sont *réversibles*, c'est-à-dire qu'elles peuvent

Digitized by Google

transformer indifféremment le travail mécanique en énergie électrique, ou l'énergie électrique en travail mécanique.

On vient de voir qu'en donnant à l'anneau Gramme un mouvement de rotation, on produisait un courant électrique. Réciproquement, si l'on envoie un courant dans cet anneau, il se mettra à tourner spontanément. Si ce courant est assez énergique, l'anneau pourra même entraîner dans son mouvement un outil quelconque et produire un travail mécanique utilisable.

C'est de cette expérience qu'a été déduite la *Transmission électrique de l'énergie.*

Pour expliquer cette réversibilité, il suffit de se reporter aux lois d'attraction et de répulsion entre deux courants ou entre un courant et un pôle magnétique.

§ **57. Armature. Électros.** — Foucault a démontré que, quand une masse métallique se meut dans un champ magnétique, il s'y produit des courants induits ayant une direction perpendiculaire à celle du mouvement. Le même fait se produit dans les noyaux des électros et dans l'anneau en fer de l'armature (on désigne souvent sous ce nom l'ensemble de l'anneau, comprenant le noyau de fer et les bobines). Ces courants particulaires constituent une perte de travail. Pour les diminuer, on forme les pôles des électros avec des lames métalliques superposées, de manière à ce que la masse soit coupée par des plans perpendiculaires aux courants de Foucault. C'est pour ce motif aussi que le noyau de l'armature est fait en fils de fer très doux enroulés en cercle et isolés.

Afin de bien utiliser le champ magnétique, les pôles des électro-aimants embrassent une portion aussi grande que possible de la circonférence de l'armature.

Pour le même motif, il faut éviter que certaines portions du fil de l'armature soient en dehors de l'action directe du champ magnétique; sinon elles constituent sim-

Digitized by Google

plement une résistance inutile ; c'est du reste ce qui se passe dans les parties internes de l'armature Gramme.

Le noyau des électros peut être fait en acier ou en fonte. Celle-ci prend plus facilement que le fer son état normal de magnétisme, et le conserve plus constant sous l'influence de légères variations dans la vitesse de l'induit. Mais elle est moins magnétique, elle exige des dimensions plus considérables et doit être recouverte d'une plus grande quantité de fil de cuivre. Le noyau des électros doit avoir une masse suffisante pour que sa saturation ne soit pas trop vite atteinte.

§ 58. **Calage des balais.** — Les deux pôles qui se forment dans le noyau en fer doux de l'armature ne sont pas, comme la théorie l'indique, placés exactement en N' S' sur la ligne NS des pôles inducteurs (fig. 53). En réalité, la ligne de ces deux pôles est en N''S'', un peu en avant de la position théorique. Donc la ligne neutre sur laquelle on doit caler les balais se déplace du même angle et se trouve en CD.

C'est que l'anneau de fer n'est pas soumis seulement à l'action des pôles N, S ; il subit en outre la réaction du courant qui circule dans le fil induit. Cette réaction aurait pour effet, si elle était seule, de transformer les parties supérieure et inférieure de l'anneau en deux aimants dont les pôles coïncideraient et seraient en A, B, sur le diamètre perpendiculaire à N'S'. Ces deux influences contraires donnent lieu à une aimantation résultante, pour laquelle la ligne des pôles se trouve occuper en N''S'' une position intermédiaire entre les deux positions extrêmes N'S' et AB.

Il résulte de cette observation qu'une position donnée des balais correspond à un sens déterminé dans la rotation de la machine et que, pour obtenir d'une dynamo le

Digitized by Google

courant qu'elle peut produire, le sens du mouvement de rotation n'est pas indifférent.

Une autre conséquence c'est que plus le courant induit est énergique, plus son action sur le noyau de l'armature est forte, et plus la ligne des pôles et la ligne neutre se trouvent déplacées. La position des balais dépend donc de

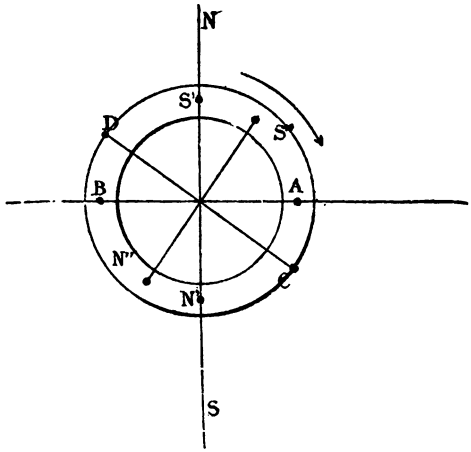


Fig. 53.

la valeur du courant produit et doit varier avec elle, ce qui conduit à adopter dans les machines des balais à *calage variable*.

Dans la pratique cependant on peut, au besoin, se dispenser de cette précaution. Mais il faut toujours avoir bien soin, pour obtenir le maximum de courant, de faire tourner l'armature dans un sens tel que la position des balais soit en avance sur le diamètre horizontal.

Les balais sont placés aux deux extrémités du diamètre formant la zone neutre. Ce sont les points du collecteur

Digitized by Google

qui ont la plus grande différence de potentiel. En effet, la force électromotrice propre à chaque bobine s'ajoute à celle du courant qui la traverse, et si l'on mesure la différence de potentiel entre le balai négatif et les lames successives du collecteur, on voit que cette différence va en augmentant et atteint son maximum sur le balai positif.

Les points de contact entre le collecteur et le balai doivent être aussi nombreux que possible pour diminuer les étincelles. Aussi les balais sont faits soit en fils étirés, soit en lames minces disposées parallèlement.

§ **59. Rendement des machines.** — Toutes les machines électriques subissent dans leur fonctionnement des déperditions d'énergie dues à plusieurs causes.

Il y a d'abord les courants de Foucault qui, comme on l'a vu plus haut, prennent naissance dans les noyaux des électros et de l'armature.

Une autre perte provient du mode de construction de l'armature. Les extrémités de chaque bobine induite aboutissent à deux lames successives du collecteur, et les balais touchent plusieurs lames à la fois, afin qu'il n'y ait pas d'interruption du courant. Il arrive donc que les deux extrémités de la bobine située dans la zone neutre sont réunies par le balai métallique, et que cette bobine se trouve fermée sur elle-même en court-circuit. Au moment où cette fermeture se produit, la bobine est parcourue par le courant de la machine; ses deux bouts possèdent donc une différence de potentiel qui, lorsqu'elle est en court-circuit, détermine un courant de décharge et, par suite, une perte d'énergie.

Une certaine quantité d'énergie se trouve encore absorbée par l'aimantation et la désaimantation successives des masses de fer, qui produisent dans ces pièces une élévation appréciable de température.

Digitized by Google

La résistance des fils absorbe encore une portion du travail, qui se trouve transformée en chaleur. Enfin les frottements et les résistances passives sont une cause de perte.

Le rendement industriel d'une machine est le rapport entre le travail électrique utile disponible aux bornes et le travail mécanique total dépensé sur l'arbre.

Les bonnes machines ont un rendement industriel de 85 à 90 p. 100. Certains constructeurs ont atteint le chiffre de 95.

La puissance motrice p dépensée peut être mesurée avec un dynamomètre de transmission placé entre la machine motrice et la dynamo.

Pour avoir la puissance utile P, on constate l'intensité I du courant avec un ampèremètre, la différence de potentiel E aux bornes avec un voltmètre. La puissance est donnée en kilogrammètres par

$$P = \frac{EI}{g}.$$

Le rendement de la dynamo est exprimé par le quotient

$$\frac{P}{p}.$$

On peut procéder de la manière suivante, quand on veut obtenir le travail de la dynamo par une mesure mécanique. On se base sur la réversibilité des dynamos, dont nous avons parlé plus haut. On prend une seconde machine identique à celle qu'on essaie, et on relie les bornes des deux dynamos par des conducteurs offrant très peu de résistance. La première, actionnée par le moteur, produit un courant qui traverse la seconde et la met en mouvement.

On mesure au dynamomètre la puissance absorbée par la

Digitized by Google

première, et avec le frein de Prony on détermine la puissance produite sur l'arbre de la seconde.

Le rapport de ces deux quantités donne le produit des rendement des deux machines, ou, vu leur identité, le carré du rendement de chacune d'elles.

Pour vérifier les résultats, on fait une seconde expérience en intervertissant le rôle des deux dynamos.

DESCRIPTION DE QUELQUES TYPES DE MACHINES

MACHINES A COURANT CONTINU

Les modèles de machines sont très nombreux aujourd'hui et se multiplient sans cesse. La description de chacun d'eux nous entraînerait beaucoup trop loin. Nous nous bornerons à indiquer quelques types, en développant seulement d'une façon théorique les différences essentielles qu'ils présentent et sans entrer dans les détails de construction. Notre but est d'indiquer les avantages et les inconvénients de chaque système et le meilleur parti que l'on peut en tirer.

§ **60. Dynamo Gramme.** — Nous avons donné précédemment la description de l'anneau Gramme et de son collecteur. Le désavantage de cet anneau est, comme nous l'avons vu, que la partie des fils située dans l'intérieur est en dehors de l'action directe des électros, et constitue une résistance inutile. Mais il a le grand avantage d'être d'une construction facile, et son sectionnement en bobines indépendantes permet, en cas d'accident, de remplacer facilement les parties endommagées.

1° *Type d'atelier.* — Dans ce type créé pour l'éclairage électrique (fig. 54), l'inducteur est formé par le bâti même de la machine, et comporte deux électro-aimants

Digitized by Google

montés en face l'un de l'autre, de façon que leurs pôles de même nom se trouvent vis-à-vis. Chacun de ces pôles s'épanouit en une coquille de fonte embrassant l'armature presque sur une demi-circonférence. Cette dynamo

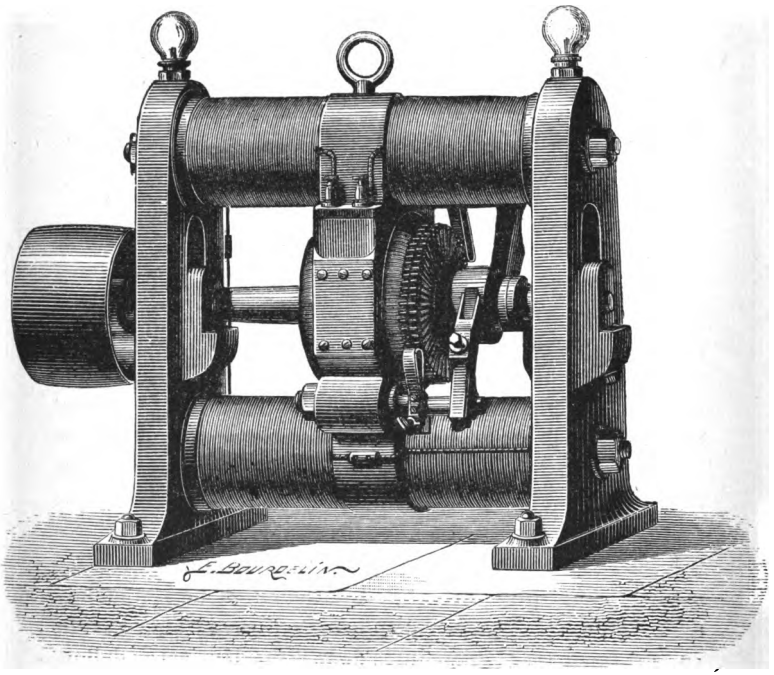


Fig. 54.

absorbe 3 chevaux à une vitesse de 900 tours et fournit 25 ampères avec 75 volts.

2° *Machines à galvanoplastie.* — Les machines à galvanoplastie sont disposées de la même façon; mais elles offrent très peu de résistance, de manière à donner une grande intensité. Le conducteur enroulé sur les électros

Digitized by Google

est formé d'une lame en cuivre unique, dont la largeur occupe toute la hauteur de l'électro et qui fait plusieurs tours sur le noyau.

L'anneau a reçu aussi quelques modifications : sur deux rondelles de cuivre munies de plusieurs entailles et clavetées à l'arbre, est placée une série de barres de cuivre isolées entre elles et formant un cylindre complet, dont les deux bouts servent de collecteurs. Le fil de fer qui forme le noyau est enroulé sur ce cylindre; il est lui-même recouvert par une seconde série de barres de cuivre. Les barres intérieures et extérieures sont reliées entre elles par des traverses rayonnantes, de façon à former un conducteur sans fin.

Le type n° 1, principalement employé dans les usines d'argenture et de dorure, dépose à l'heure de 600 gr. à 1 kg. d'argent; la puissance absorbée est au maximum de 1 cheval. Utilisé pour l'affinage du cuivre, il précipite 250 kg. de ce métal par jour avec une puissance de 5 chevaux. Il coûte 2400 francs.

Cette machine débite :

Ampères.	Volts.	Vitesse.
300	4	500 tours.
—	7	750 —
—	10	1000 —

La machine n° 2 dépose par heure 150 à 250 gr. d'argent ou 50 à 80 gr. de nickel ou de cuivre, en consommant une puissance motrice qui varie de 20 kgm à 1 cheval. Son prix est de 1500 francs.

Elle débite :

Ampères.	Volts.	Vitesse.
65	6	800 tours.
—	7,5	1000 —
—	9	1200 —

Enfin, une grande machine de 12000 francs, spéciale-

Digitized by Google

ment employée pour l'affinage du cuivre, peut facilement produire une tonne de métal par jour. Sa vitesse normale est de 500 tours, et, dans ces conditions, on obtient, suivant les besoins, 3500 ampères et 4 volts, ou 1750 ampères et 8 volts. La vitesse peut être portée jusqu'à 750 tours, ce qui augmente la force électromotrice de 50 p. 100.

§ **61. Machine Siemens.** — Dans cette machine, l'armature est combinée de façon à ce que le fil soit presque tout

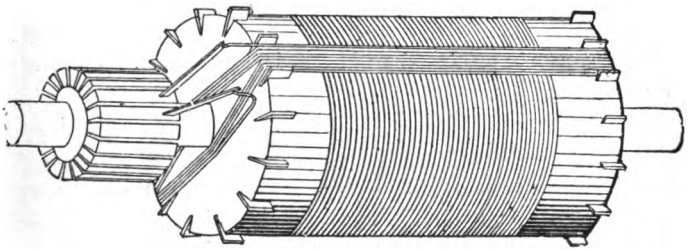


Fig. 55.

entier soumis à l'action des électros, et l'enroulement est fait de manière à ne pas présenter de parties internes, comme dans l'anneau Gramme.

L'induit (fig. 55) se compose d'un noyau cylindrique en fer entouré de fil ; mais celui-ci est enroulé dans le sens longitudinal et seulement sur la partie extérieure du cylindre. Les portions de fil qui se croisent sur les deux bases du cylindre sont encore sans action utile. Pour diminuer cet inconvénient, on a augmenté la longueur du cylindre. Cette machine présente un collecteur et un commutateur analogues à ceux de Gramme.

Le fil de l'armature est divisé en huit bobines.

Les huit bobines (fig. 56) ont leurs seize bouts désignés par les chiffres 1, 2, 3... 8, 1′,2′,3′... 8′; la première

Digitized by Google

bobine commence par 1 et finit par 1′, la deuxième commence par 2 et finit par 2′, etc...

Soient *a* et *e* les deux lames du collecteur en contact avec les balais. Les deux courants induits dans l'armature qui, comme dans l'anneau Gramme, viennent s'asso-

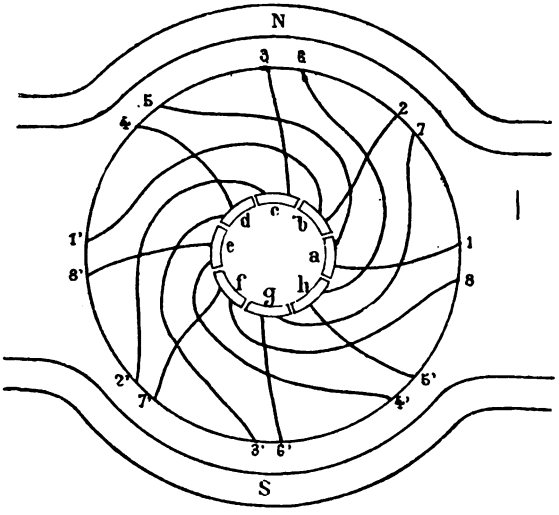


Fig. 56.

cier en quantité dans le circuit extérieur, suivent respectivement les chemins $a - 11' - b - 22' - c - 33' - d - 44 - e$ et $a - 55' - h - 66' - g - 77' - f - 88' - e$.

Quant à l'inducteur, il se compose de deux électro-aimants situés l'un à droite, l'autre à gauche ; ces électros ont leurs noyaux et leurs pôles communs; il existe donc un pôle Nord unique N et un pôle Sud S. Ces inducteurs, formés d'une série de lames de fer, sont légèrement arqués sur la bobine, comme l'indique la fig., et produisent ainsi un champ magnétique bien réparti.

Digitized by Google

Les fils des électro-aimants sont enroulés sur des carcasses en tôle que l'on glisse sur les noyaux.

Cette machine peut, sous cette forme, être employée à la production de la lumière, au transport de l'énergie, à la galvanoplastie; il suffit, pour cela, de faire varier en conséquence les dimensions des organes et les diamètres des fils.

§ **62. Machine Edison.** — Les machines Edison ne présentent, dans leur construction, aucun principe particulier. Le noyau de l'armature est formé de fils de fer, comme celui de Gramme; sur ce noyau, le conducteur induit est enroulé conformément à la disposition Siemens; enfin, le collecteur est identique au collecteur Gramme.

La particularité de ces machines consiste dans les fortes dimensions données à l'inducteur. Ce dernier se compose, en effet, de deux bobines verticales d'une très grande hauteur, réunies à leurs extrémités supérieures par un bloc de fer et formant ainsi un électro-aimant très puissant. Ces bobines se terminent en bas par deux pièces massives en fer qui constituent les pôles magnétiques entre lesquels se meut l'armature (fig. 49, 50).

Les bobines qui composent l'anneau induit sont en nombre impair, à l'inverse des autres machines. De cette façon, elles ne sont plus diamétralement opposées deux à deux, et les balais ne peuvent jamais en mettre qu'une à la fois en court-circuit.

Les machines Edison ont une très faible résistance intérieure. Elles sont destinées à l'éclairage électrique à incandescence, et doivent être employées avec des lampes disposées en quantité. Quant à l'excitation des inducteurs, elle est produite par une dérivation du courant de la machine ou par le système compound.

Dans un des modèles de cette dynamo, l'induit est compris entre quatre électros verticaux.

Digitized by Google

§ **63. Machines Thury.** — Les machines Thury, construites par la *Compagnie de l'Industrie électrique* dans ses ateliers de Genève, Paris et Gênes, se font, suivant leur puissance, à 2, 4, 6, 8 ou 12 pôles. Les types bipolaires ne présentent aucune disposition bien particulière, ils ont un induit à tambour avec un nombre impair de sections. Les machines multipolaires sont remarquables par leur faible vitesse angulaire et leur rendement industriel.

Ce dernier résultat est obtenu : 1° par le peu de longueur donné au circuit magnétique, par ses proportions, ainsi que par le choix des différents éléments entrant dans sa composition; 2° par le peu de résistance que présente l'enroulement inducteur, les ampères-tours nécessaires étant produits avec le minimum de perte; 3° par la faible résistance de l'induit, la longueur de conducteur inutile étant aussi réduite que possible ; 4° le grand diamètre de l'induit permet d'en effectuer l'enroulement avec une seule couche de conducteur, ce qui réduit très sensiblement l'entrefer, et par conséquent, améliore le rendement.

Ces machines se construisent pour tout voltage jusqu'à 4000 volts et conviennent également pour électrochimie, électrométallurgie, éclairage, traction, transport et distribution de l'énergie. Elles sont excitées, suivant les applications, en série, en dérivation simple ou compound, ou encore séparément.

Le graissage des paliers est automatique (à anneaux), et les balais sont remplacés par des frotteurs en charbon cuivré, de forme trapézoïdale qui maintiennent au collecteur son poli et ne l'usent que d'une façon inappréciable; ils suppriment les étincelles.

§ **64. Dynamos à pôles intérieurs Siemens et Halske.** — Ce qui caractérise ces machines, c'est que l'armature sert elle-même de collecteur.

Digitized by Google

Les inducteurs I fixes (fig. 57) sont placés dans l'intérieur de l'anneau, au nombre de 10; ils présentent une section rectangulaire, et sont fixés dans la direction des rayons sur un châssis annulaire.

Le noyau de l'induit est formé de disques en tôle isolés. L'armature est supportée en porte-à-faux par des bras *a* isolés, fixés sur une étoile en bronze. L'enroulement de l'induit se compose de barres en cuivre *d*. Les bouts de ces

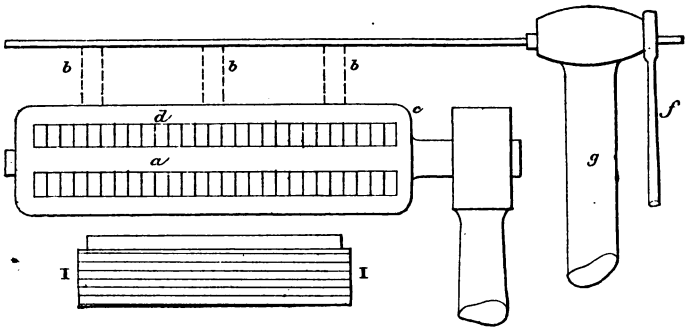


Fig. 57.

barres sont réunis par un étrier *c*, de façon à former une spirale continue dont les différentes parties sont isolées entre elles. Les barres extérieures *d* servent de collecteur. Chaque porte-balai est muni de trois balais *b*. Les porte-balais sont adaptés à une étoile *g*, que l'on commande par une roue engrenant avec une roue dentée. Les porte-balais peuvent être tournés au moyen des leviers *f* reliés par des pièces à coulisse avec une autre étoile.

Ces machines sont attelées directement sur le moteur. Une dynamo de ce genre, installée à la station électrique de la Spandauerstrass, à Berlin, peut fournir 2000 ampères et 140 volts avec une vitesse de 80 tours. La perte de

Digitized by Google

potentiel dans l'induit est de 3,5 p. 100. Le poids total est 26000 kg. Le rendement est de 95 p. 100.

Des machines analogues d'une puissance de 1000 chevaux ont été construites à Berlin.

Des dynamos de la même espèce sont établies à la station électrique de Clichy ; elles ont 8 pôles intérieurs ; commandées directement par des machines Corliss, elles font 60 tours avec une puissance de 500 chevaux.

§ **65. Dynamos Desroziers.** — Cette machine, construite par la maison Bréguet, se distingue des dynamos précédentes par la disposition de son induit, qui a la forme d'un disque, et par la suppression de la masse de fer qui, dans les machines à anneau et à tambour, constitue le noyau de l'induit. Le champ magnétique est donc créé par les électro-aimants seuls. On supprime ainsi les effets nuisibles dus aux courants de Foucault.

Le système inducteur est multipolaire. Les différents types construits jusqu'à présent ont 6 ou 10 pôles. Les inducteurs sont placés parallèlement à l'axe et symétriquement de chaque côté de l'induit qui tourne dans un vide annulaire ménagé entres les pôles des bobines.

Si l'on considère, par exemple, une machine à 6 pôles, le champ tout entier comprend 6 zones alternées, dont 3 à flux positif, 3 à flux négatif. On peut donc représenter ce champ schématiquement (fig. 58) par 3 zones hachurées et 3 zones non hachurées. Les lignes de séparation représentent les régions pour lesquelles l'intensité de champ est nulle. Les axes de symétrie des 6 zones sont, au contraire, les régions pour lesquelles l'intensité du champ est maxima.

L'induit est formé essentiellement de portions de fils radiaux comprises entre deux circonférences concentriques à l'arbre. Ces fils sont reliés entre eux, dans un

Digitized by Google

ordre déterminé, par des développantes de cercle. Les connexions forment, par suite, deux couronnes de fils, l'une extérieure, l'autre intérieure à la couronne des fils radiaux ; et il n'existe aucun croisement de fils dans tout l'enroulement.

La droite OA étant une région neutre, le déplacement

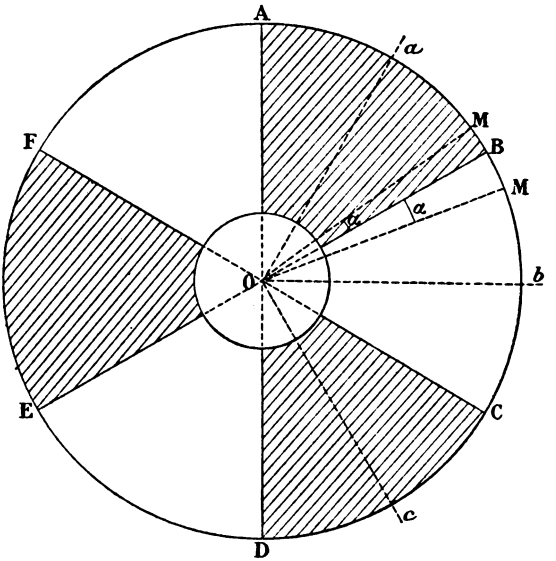


Fig. 58.

d'un fil radial dans cette région ne développera dans ce fil aucune force électromotrice. A mesure qu'il avancera vers l'axe O*a* de la première zone à flux positif, une force électromotrice de plus en plus grande s'y produira. Puis cette force décroîtra, pour devenir nulle quand le fil sera en OB. La force sera de sens contraire et croissante en valeur absolue jusqu'en O*b*, elle décroîtra en valeur absolue

Digitized by Google

jusqu'en OC, où elle deviendra nulle. Dans un tour complet les mêmes phénomènes se produisent trois fois.

La puissance d'une machine est proportionnelle, comme on l'a vu, § 53, à la vitesse de l'induit, au champ inducteur, à l'intensité du courant circulant dans les sections induites.

Or, dans la dynamo Desroziers, ces 3 éléments sont susceptibles d'être bien utilisés. En effet, la disposition en rayons des fils permet d'atteindre des vitesses élevées, la force centrifuge n'ayant d'autre action que d'exposer l'ensemble à un travail d'extension. D'autre part, grâce à la disposition des fils, on peut atteindre une vitesse linéaire de 20 à 25 mètres, sans que la vitesse de rotation soit considérable. Les champs magnétiques possèdent une grande puissance, parce que la réaction de l'induit sur l'inducteur est beaucoup diminuée par l'absence du noyau de fer et la suppression des courants de Foucault, dont l'effet est d'augmenter la température du fil. Enfin, les fils induits étant tout à fait séparés les uns des autres sont soumis à une ventilation qui les empêche de s'échauffer.

Pour l'éclairage des navires, on installe plusieurs groupes, formés chacun d'un moteur vertical compound et d'une dynamo Desroziers, reliés entre eux par un accouplement élastique du système Raffard. Sur le paquebot *Le Saint-Laurent*, par exemple, il existe deux groupes disposés de cette façon. Les dynamos donnent, à la vitesse de 350 tours, 175 ampères avec une tension de 105 volts.

Plusieurs dynamos Desroziers sont employées actuellement dans les secteurs électriques de Paris par la *Société pour la transmission de la force par l'Électricité*, et par la C^ie^ Popp.

Digitized by Google

MACHINES A COURANTS REDRESSES

§ **66. Dynamo Thomson-Houston.** — Dans cette machine, l'intensité du courant reste toujours constante, quel que soit le travail à produire, et elle est, dans une certaine mesure, indépendante de la vitesse. On y est arrivé au moyen d'un régulateur automatique qui agit pour déplacer

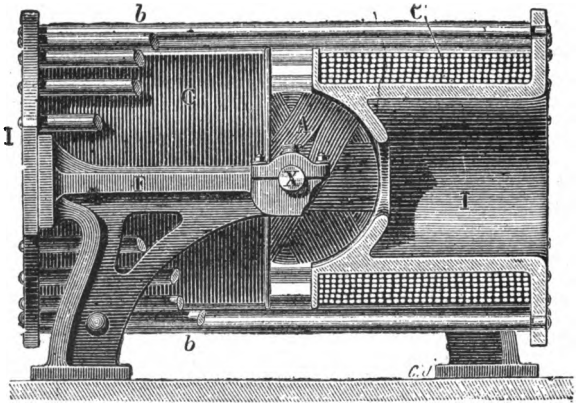


Fig. 59.

les balais, de façon à faire varier la force électromotrice suivant les résistances à vaincre. Aussi cette dynamo convient-elle à une distribution d'électricité destinée à des appareils disposés en série; car, dans ce cas, l'intensité est indépendante du nombre d'appareils en service.

L'inducteur comprend deux bobines C,C' (fig. 59), enroulées sur des cylindres creux placés bout à bout, de façon à ménager seulement le passage de l'arbre de rotation. A l'intérieur, les cylindres se terminent par une cavité sphérique dans laquelle se loge l'induit. Leurs bouts

Digitized by Google

opposés forment deux rebords extérieurs réunis entre eux par des tiges de fer qui maintiennent les deux cylindres et servent à protéger les bobines.

La machine est excitée en série.

L'induit a la forme d'une sphère un peu aplatie (fig. 60). Son noyau comporte deux coquilles en fonte S, S, réunies par des barres de fer *d*, *d*. Sur cette carcasse on enroule le fil de fer W formant le noyau. Ce dernier est recouvert

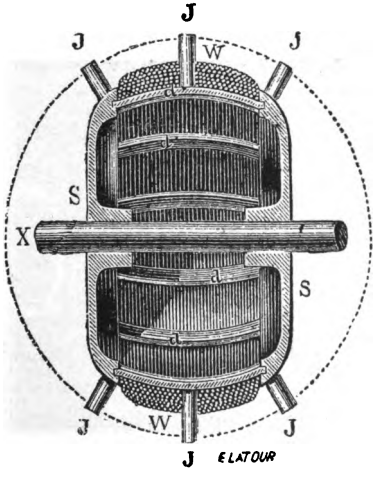


Fig. 60.

de plusieurs couches de papier isolant, sur lequel on enroule le fil de cuivre isolé.

L'induit comporte trois bobines.

Sur chaque demi-sphère sont placées des baguettes en bois dur J, J, qui servent à retenir les fils et à guider l'enroulement. Les bobines sont maintenues par de gros fils en laiton. Ces trois bobines fonctionnent comme trois anneaux calés à 120° l'un de l'autre. La figure théorique 61 les représente réduites chacune à une spire moyenne.

Digitized by Google

Quand elles tournent, elles sont traversées par un courant, qui change de sens chaque fois qu'elles passent dans le plan perpendiculaire à l'axe des inducteurs, c'est-à-dire deux fois par chaque tour.

Le collecteur sert à recueillir ces courants et à les *redresser*. Il est formé de trois segments en cuivre isolés entre eux et occupant chacun le tiers de la circonférence. Chaque segment est attaché au bout finissant d'une bobine; et les trois bouts commençants sont soudés en *h*.

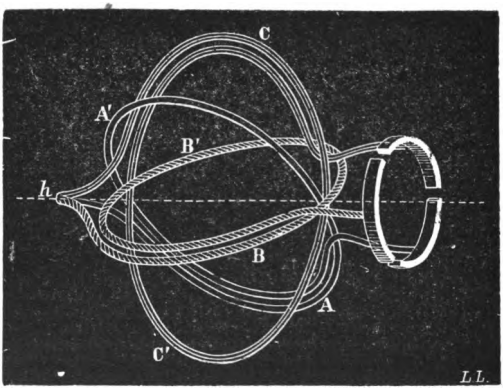


Fig. 61.

La figure 62 représente théoriquement le collecteur et les balais frottant à sa surface. Les balais sont au nombre de quatre, et ils sont reliés électriquement deux à deux : B_1 avec B_2; B_3 avec B_4. On a ainsi deux paires de balais pour chaque borne positive et négative. Les balais de même nom sont séparés par un angle de 60° sur le collecteur; ceux de noms contraires, par un angle de 120°. Les trois bobines, telles qu'elles sont représentées sur la figure par 1, 2, 3, sont donc toujours en circuit : 1 et 2

Digitized by Google

sont assemblées en quantité, et elles sont en tension avec 3.

Supposons maintenant qu'on décale les balais, ceux de chaque paire étant déplacés en sens inverse l'un de l'autre, de façon à ce que leur angle soit plus grand que 60°, comme l'indiquent les traits pointillés de la figure. Les balais de noms contraires sont alors à moins de 120° l'un de l'autre, c'est-à-dire à une distance moindre qu'un segment du collecteur. Dans ce cas, les trois bobines sont en court-circuit. En effet, le courant partant de h, point de jonction des trois bobines, arrive au segment α par la bobine 1; il y parvient encore par la bobine 2, le segment β, le balai B'_4 et le balai B'_3. Du segment α il passe au segment γ par B_1' et B'_2, puis il traverse la bobine 3 et revient au point h. La production de la machine est donc arrêtée.

Mais, bien qu'il ne soit plus alimenté par l'induit, le circuit extérieur reçoit encore un courant. Car, à chaque court-circuit, les inducteurs se désaimantent un peu et produisent un courant qui prolonge celui des bobines. L'inducteur sert de volant d'intensité. L'aimantation perdue est restituée quand l'induit est de nouveau remis en circuit avec les inducteurs.

Pour que la force électromotrice se modifie suivant les besoins du circuit extérieur, on a imaginé le système suivant qui produit le décalage automatique des balais.

G, G' (fig. 62) représentent les deux bornes de la machine; C, C' les électro-aimants inducteurs. Le courant traverse un double solénoïde FF', dans lequel se meuvent deux noyaux réunis par une culasse suspendue à un ressort que l'on peut régler. Le courant est amené au solénoïde par un contact D. Afin d'éviter les étincelles en ce point, une résistance en charbon N est établie en dérivation sur

Digitized by Google

le contact D, qui ne laisse passer qu'une partie du courant principal.

Si l'intensité du courant devient trop forte, par suite de la diminution de résistance du circuit extérieur, le solénoïde attire son armature, et le contact en D est rompu. Le courant de la machine suit alors la ligne pointillée, et traverse l'électro-aimant H qui attire son armature L.

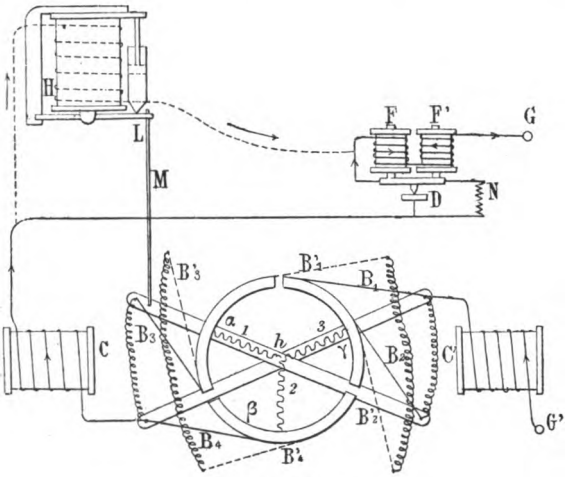


Fig. 62.

Celle-ci, au moyen de la tige M, agit sur les balais B_2, B_3, portés par une barre rigide mobile autour de l'axe de l'induit, et les fait tourner. Par une série de leviers, elle actionne une seconde barre portant les balais B_1 et B_4, et les fait tourner en sens contraire. Un frein à glycérine, disposé sur l'armature L, en atténue les déplacements trop brusques.

Grâce à cette disposition, chaque fois que l'intensité du courant varie, par suite des changements de résistance du

Digitized by Google

circuit extérieur dus, par exemple, à l'allumage ou à l'extinction d'une certaine quantité de lampes, le réglage automatique ramène l'intensité à sa valeur normale. Le même effet se produit lorsque la vitesse de la machine vient à varier.

Cette dynamo, dont la disposition est fort originale, convient pour les lampes à arc disposées en séries.

MACHINES A COURANTS ALTERNATIFS OU ALTERNATEURS

§ **67. Théorie.** — Les machines à courants alternatifs, qu'on nomme aussi *Alternateurs*, reposent sur le principe suivant :

Les bobines induites sont placées sur la périphérie d'un

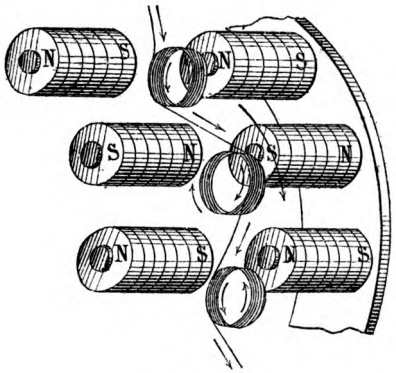


Fig. 63.

disque et se meuvent entre les pôles opposés de deux séries d'électro-aimants (fig. 63). Ces pôles sont alternativement de noms contraires, de telle sorte que les lignes

Digitized by Google

de force de deux champs magnétiques successifs ont des directions opposées. Le courant induit est donc de sens contraire dans deux bobines successives, et l'on arrive à associer les actions de ces différents courants en réunissant les bobines, ainsi que l'indique la figure. De plus, comme le sens du courant se modifie dans chaque bobine, lorsque celle-ci passe d'un champ magnétique dans un autre, il change à la fois dans toutes les bobines et, par suite, dans le circuit extérieur, entre les balais où il est recueilli.

Comme la vitesse de rotation est considérable, les passages des bobines devant les électros se succèdent à des intervalles fort petits. Il en est de même des renversements du courant, et l'on arrive à avoir dans le circuit extérieur des courants alternatifs très multipliés.

Pour les alternateurs à disque, on évite l'emploi du fer dans l'armature. Le fer procure, il est vrai, des champs magnétiques intenses sans exiger une grande force d'excitation ; mais il donne lieu à des courants de Foucault qu'on diminue, comme on l'a déjà vu, en divisant ces masses et en les séparant par des couches isolantes disposées normalement à la force qui engendre les courants parasites. Il y a, en outre, production d'hystérésis dans le fer, et accroissement de la self-induction de l'armature dû aux noyaux mobiles. Les courants de Foucault dans les fils induits sont plus importants avec les alternateurs qu'avec les machines à courant continu, à cause du grand nombre de pôles inducteurs. Ce fait est encore plus sensible avec des induits à noyaux de fer, qui produisent des variations brusques du champ magnétique, au moment où les pôles changent de sens dans les noyaux. Ces différents effets diminuent le rendement des alternateurs. Aussi a-t-on avantage à supprimer le fer dans les armatures et à leur donner une forme très plate pour diminuer l'entrefer.

Digitized by Google

§ 68. **Machine Siemens.** — La dynamo Siemens à courants alternatifs est basée sur le principe énoncé § 67. Elle comporte 2 rangées d'électro-aimants fixes disposés de manière que deux champs magnétiques successifs soient orientés en sens inverse. Les bobines induites tournent entre ces électros, qui sont excités par une machine indépendante à courant continu, dite *excitatrice*; et leur nombre est égal à celui des champs magnétiques.

Les électros ont pour noyaux des barres rondes de fer doux sur lesquelles est enroulé le fil inducteur. L'armature mobile est formée de deux plaques métalliques dont l'écartement est maintenu par des entretoises en bois, autour desquelles est enroulé le fil induit. Les deux bouts du fil induit aboutissent respectivement à deux bagues métalliques constituant le collecteur et sur lesquelles frottent les balais.

§ 69. **Machine Gramme.** — Dans les machines Gramme à courants alternatifs, employées pour l'éclairage par les bougies Jablochkoff, les électro-aimants conducteurs sont mobiles, et l'armature est fixe. Celle-ci a la forme d'un cylindre assez long, recouvert de fil et sectionné en bobines distinctes, comme l'anneau de la machine à courant continu. A l'intérieur de ce cylindre sont huit électro-aimants inducteurs, disposés radialement de façon que, sur la circonférence extérieure, leurs pôles soient alternativement de noms contraires.

Cette disposition supprime le collecteur; le courant excitateur est amené par deux balais à deux cercles distincts et isolés, fixés sur l'arbre de la machine, et, de là il passe successivement dans les bobines des électros. Au début, ce courant provenait d'une machine séparée, comme dans l'alternateur Siemens, ce qui compliquait les transmissions. M. Gramme a simplifié cette disposition. La dynamo actuelle se compose en réalité de deux machines distinctes,

Digitized by Google

mais qui sont montées sur le même axe et mises simultanément en mouvement. L'une d'elles est à courants alternatifs, l'excitatrice est à courant continu. L'installation devient ainsi plus simple et moins coûteuse.

§ **70. Machine Ferranti.** — Cette dynamo possède une armature induite qui tourne entre deux rangées circulaires

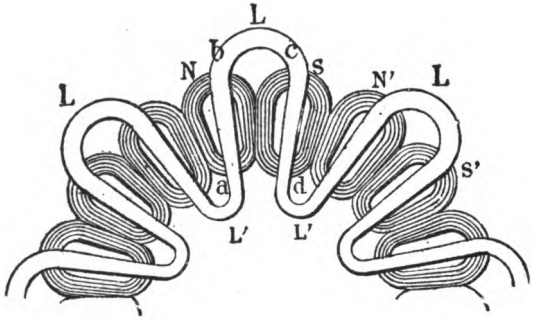


Fig. 64.

d'électro-aimants, de forme ovoïde, dont les pôles changent de noms alternativement. Chaque rangée (fig. 64) contient 16 électros N, S, N', S'...; ils sont montés en série et excités par une dynamo indépendante.

L'armature se compose d'un long ruban de cuivre ayant 36 m. de long, 12 mm. de largeur et 2 mm. d'épaisseur. Il est coutourné en forme de feston suivant la courbe LL. Le nombre de ses boucles est 8, c'est-à-dire moitié du nombre des électros; il s'enroule 12 fois suivant cette même courbe, formant ainsi 12 boucles isolées entre elles. Ses deux bouts sont soudés à deux pièces isolées, fixées à l'axe, sur lesquelles frottent les balais.

Soient deux parties voisines *ab*, *cd* de ce ruban. Quand *ab* s'approche du champ magnétique N, *cd* s'approche du champ S, orienté inversement. Les courants induits dans

Digitized by Google

les deux éléments sont donc contraires; mais comme les directions *ab*, *cd* sont elles-mêmes opposées, les deux courants s'ajoutent. Il en est de même pour toutes les boucles; et la rotation produit un courant en *ab*, *cd*, chaque fois que ces éléments passent d'un champ magnétique dans un autre, c'est-à-dire 16 fois par tour.

Cette machine ne possède aucune pièce de fer dans son armature qui est, par suite, très légère. Aussi peut-elle

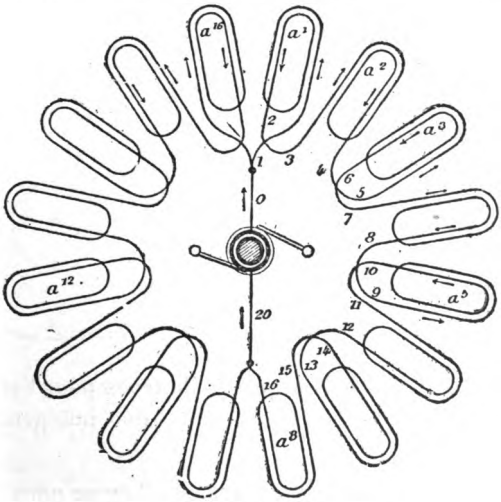


Fig. 65.

tourner à 1900 tours. La résistance de l'armature n'est que 0,0265 ohm.

§ **71. Alternateur de la C^ie^ Westinghouse.** — Cette machine est destinée à alimenter des transformateurs secondaires. L'inducteur est fixe; il comporte 16 bobines disposées radialement et enroulées de façon que, sur la circonférence intérieure, leurs pôles soient alternés. L'in-

Digitized by Google

duit comprend autant de bobines que l'inducteur; les enroulements de 2 bobines voisines sont faits en sens inverse, de façon que les courants produits par chacune s'ajoutent l'un à l'autre, comme l'indique la fig. 65. En outre, les bobines sont groupées en deux circuits parallèles, dont les extrémités communes sont reliées à 2 bagues, sur lesquelles appuient les balais. Le noyau de l'induit est formé

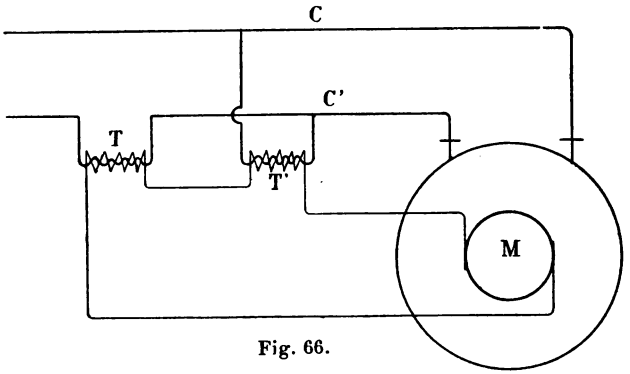


Fig. 66.

de disques en tôle isolés et percés de trous pour l'aération. La machine est excitée par une dynamo indépendante à courant continu.

§. **72. Excitation des inducteurs.** — Comme nous l'avons vu en décrivant différents systèmes d'alternateurs, ces machines peuvent être excitées par une dynamo spéciale à courant continu; c'est le système le plus généralement adopté. D'autres fois, la machine est auto-excitatrice; on envoie dans les inducteurs une dérivation du courant induit qui est préalablement redressé par un commutateur spécial. Ce système complique certains détails des machines qui sont soumis à de hautes tensions et qu'il faut, au contraire, chercher à simplifier.

Digitized by Google

§ 73. **Régulateur de courant, Système Ganz.** — De même que dans les machines à courant continu, on peut avoir besoin avec les alternateurs soit d'une force électromotrice, soit d'une intensité constante. Pour obtenir une différence de potentiel constante avec les machines auto-excitatrices, M. Ganz emploie un enroulement compound.

La machine étant supposée en M (fig. 66), et CC′ repré-

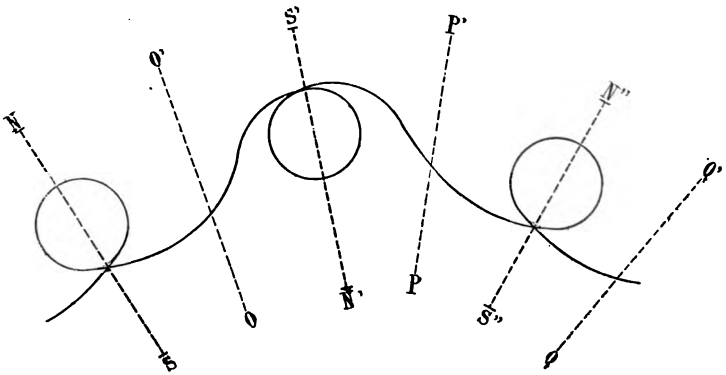


Fig. 67.

sentant le circuit extérieur, deux transformateurs T, T′ sont placés, l'un T′ en dérivation, l'autre T en série sur ce circuit; ils produisent des courants secondaires à basse tension qui, après avoir été redressés par un commutateur, servent à l'excitation et jouent le même rôle que dans les dynamos à courant continu.

§ 74. **Courants alternatifs polyphasés.** — Avec les machines que nous venons d'étudier, on ne peut obtenir qu'un seul courant. Mais une machine peut être disposée de manière à produire à la fois plusieurs courants alternatifs. Avant d'entrer dans cette étude, nous allons établir quelques définitions.

Digitized by Google

Considérons (fig. 67) une série de bobines passant successivement dans les champs inducteurs NS, S'N'... Comme toutes les bobines induites ont la même position par rapport aux inducteurs, il suffit de suivre l'une d'elles dans son mouvement pour comprendre ce qui se passe dans la machine entière.

Quand une bobine se trouve sur la ligne neutre OO' de deux champs magnétiques voisins, la force électromotrice

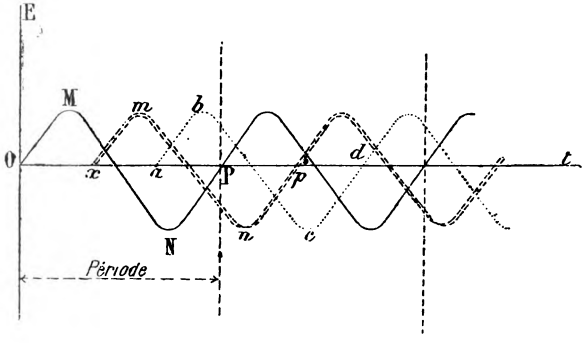


Fig. 68.

est nulle. Puis, elle va en augmentant, et acquiert son maximum lorsque la bobine arrive sur la ligne des pôles N'S'; à partir de là elle diminue pour redevenir nulle en PP'; ensuite les mêmes phénomènes se reproduisent jusqu'en QQ'; mais comme les lignes de force de ce champ sont de signe contraire à celles du premier, le courant induit aussi est de signe contraire.

Pour représenter graphiquement les variations de la force électromotrice, portons en abscisses (fig. 68) les valeurs des temps, et en ordonnées les valeurs de la force électromotrice; on obtient une sinusoïde O M N P. On appelle *période* l'intervalle de temps compris entre les passages

Digitized by Google

de la bobine induite en deux points où la force électromotrice a deux valeurs égales et de même signe.

La *fréquence* est le nombre de périodes par seconde. Sur la fig. 68, OP est une période. On dit que deux courants alternatifs ont même *phase*, quand leurs périodes sont égales. Du reste ces phases égales peuvent coïncider ou non. Ainsi le courant *x m n p* a des phases égales, mais *discordantes* avec O M N P; on dit alors qu'il a sur celui-ci un *retard de phases*, ou qu'il est *décalé* d'une certaine fraction de période. Si, par exemple, O *x* est égal à $\frac{1}{3}$ de O P, le courant *x m n p* est décalé sur O M N P de $\frac{1}{3}$ de période.

Une même machine peut être combinée de façon à produire plusieurs courants alternatifs présentant mêmes phases et décalés l'un par rapport à l'autre d'une certaine quantité. Supposons, par exemple, un anneau Gramme GG tournant dans un champ magnétique N S (fig. 69). En 3 points de cet anneau distants l'un de l'autre de 120° sont fixés 3 fils, qui viennent s'attacher chacun à une des 3 bagues *m*, *n*, *p* isolées entre elles et reliées par des balais aux 3 conducteurs *z*, *y*, *x*.

En faisant tourner l'anneau au moyen de la poulie P, on obtiendra sur les bagues des courants alternatifs triphasés décalés l'un par rapport à l'autre de un tiers de période.

On conçoit facilement que l'on puisse produire des courants *diphasés*. Dans ce cas, le décalage est généralement de un quart de période; s'il comprenait une demi-période, les courants se trouveraient en opposition. Avec les courants diphasés, il faut, pour les conducteurs extérieurs, employer 4 fils égaux, ou 3 fils; et l'on donne alors à l'un d'eux un diamètre plus fort pour qu'il serve de retour aux deux autres.

Digitized by Google

La fig. 68 montre qu'avec des courants triphasés la somme algébrique des courants traversant chaque fil est toujours nulle; on emploie donc 3 fils de même section, chacun d'eux servant de retour à la somme des courants passant par les deux autres.

Dans le chapitre consacré à la Transmission de l'énergie

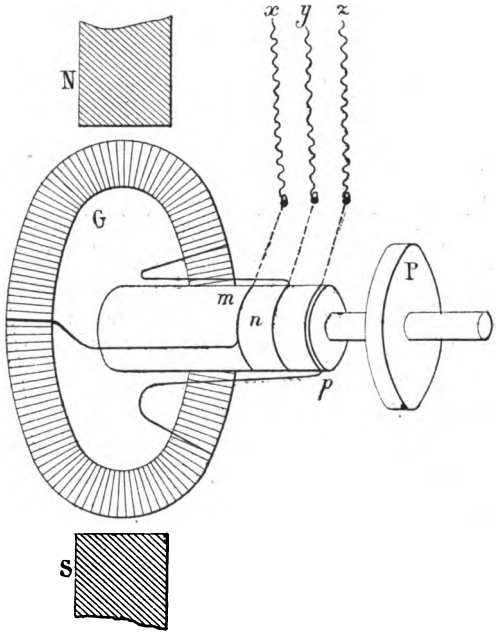


Fig. 69.

nous verrons d'importantes applications des courants polyphasés.

§ **75. Dynamo à courants triphasés des ateliers d'Oerlikon.** — Comme exemple des machines à courants triphasés,

Digitized by Google

citons celle qui a été construite par M. Brown pour les expériences de Lauffen-Francfort, dont nous parlerons plus loin. Cette dynamo comporte un inducteur mobile unique, et un induit comprenant 3 circuits décalés entre eux de un tiers de période. L'induit est fixe, afin d'éviter les balais collecteurs, dont l'usage serait très difficile avec les fortes intensités que produit la machine. L'inducteur

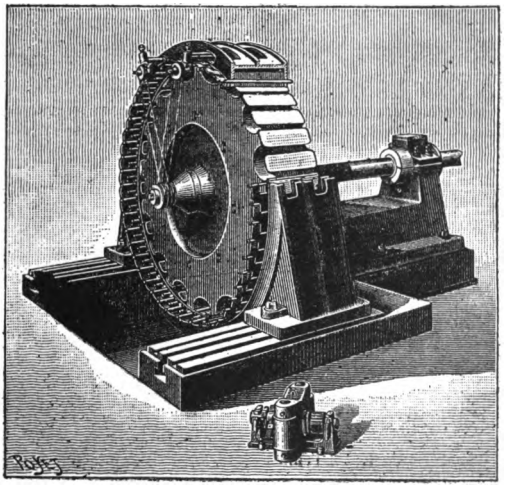


Fig. 70.

possède 32 pôles alternativement de signes contraires (fig. 70), produits par une dynamo excitatrice indépendante indiquée au bas de la figure. Cet inducteur, porté par l'axe de rotation, tourne à l'intérieur d'un anneau cylindrique en tôle de fer fixé au bâti. La surface intérieure de cet anneau est découpée par 96 encoches, parallèles à l'axe, dans lesquelles sont placés les conducteurs induits. Ceux-ci sont formés de barres ayant 29 mm. de diamètre, isolées de l'anneau par de l'amiante. Ces barres sont groupées

Digitized by Google

entre elles de manière à former 3 enroulements comprenant chacun 32 barres en tension.

Les 3 enroulements peuvent être assemblés entre eux de deux façons :

1° *en triangle* (fig. 71) : les parties sinueuses *ab*, *bc*, *ac*

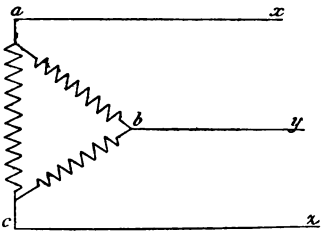


Fig. 71.

représentent les enroulements; les conducteurs extérieurs sont figurés en x, y, z;

2° *en étoile* : c'est la disposition qui a été adoptée pour la

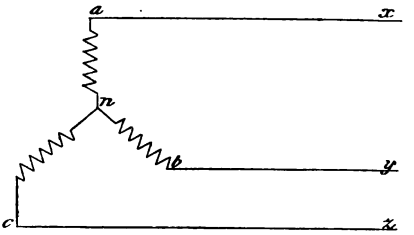


Fig. 72.

dynamo de Lauffen-Francfort. Les 3 enroulements viennent converger en un point commun n (fig. 72), comme dans la machine Thomson-Houston (§ 66); et les conducteurs extérieurs s'attachent aux extrémités a, b, c.

La force électromotrice et la résistance varient suivant le système adopté.

Digitized by Google

La machine fournit 50 volts et 1 400 ampères dans chaque circuit, soit une puissance utile d'environ 210 kilowats. Le poids total de la dynamo est 9 000 kg.; le poids de cuivre pour les inducteurs n'est que de 300 kg. La vitesse est de 150 tours par minute; la fréquence des périodes est donc de 40 par seconde. L'excitation, quand l'induit est à circuit ouvert, ne consomme pas plus de 100 wats; le rendement à pleine charge atteint 96 0/0.

Nous parlerons plus tard des expériences importantes qui ont été entreprises avec cette machine.

ACCOUPLEMENT DES MACHINES

De même que les piles, les dynamos peuvent être groupées en tension ou en quantité; mais il existe certaines précautions à prendre, suivant que les machines sont à courant continu ou à courants alternatifs, et selon le mode d'excitation des inducteurs.

§ **76. Dynamos à courant continu. Couplage en série.** —

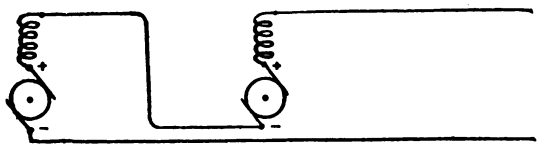


Fig. 73.

Voici les différentes manières de procéder indiquées par M. H. Fontaine :

1° Si les inducteurs sont montés en série (fig. 73), on réunit la borne — d'une machine à la borne + de l'autre; on relie le circuit extérieur avec la borne + de la première et avec la borne — de la seconde.

En pratique, on ne groupe pas plus de 3 ou 4 machines

Digitized by Google

de cette façon. Elles doivent être construites pour donner la même intensité; sinon on s'exposerait à brûler les fils de l'une.

2° Si les inducteurs sont montés en dérivation (fig. 74), on ne peut réunir les deux machines en série en laissant à chacune son excitation propre. On relie la borne — d'une machine à la borne + de l'autre; on attache le circuit

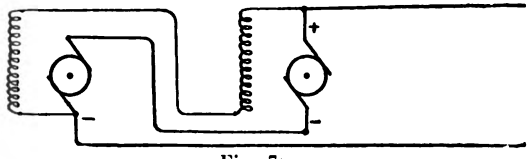


Fig. 74.

extérieur à la borne + de la première et à la borne — de la seconde; puis on relie le fil dérivé des inducteurs à la borne + de la première machine et à la borne — de la seconde. Les dynamos excitées en dérivation possèdent

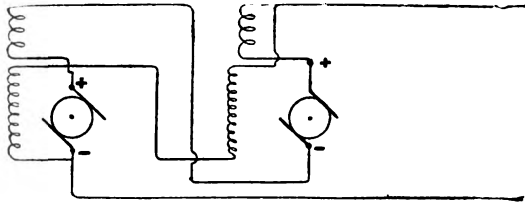


Fig. 75.

généralement un régulateur de courant; c'est une résistance variable intercalée dans le fil en dérivation et permettant de régler à volonté le courant qui alimente les inducteurs.

3° Si les inducteurs sont à enroulement compound (fig. 75), on réunit les gros fils comme dans le couplage (1), et les fils fins comme dans le couplage (2). De même que pour les machines excitées en dérivation, il est bon dans

Digitized by Google

les machines compound de placer un régulateur de courant sur le fil en dérivation. Si le nombre de tours de la dynamo vient à varier, cet appareil permet de régler le courant.

Par ces différentes dispositions on a cherché à faire

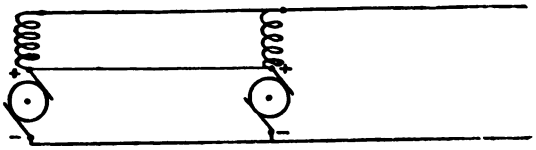


Fig. 76.

parcourir les inducteurs des deux machines par les mêmes courants, afin d'avoir des champs magnétiques égaux.

§ 77. **Dynamos à courant continu. Couplage en quantité.** — Quand on veut accoupler en quantité deux dyna-

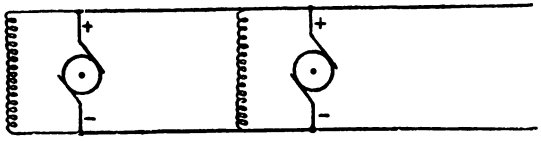


Fig. 77.

mos excitées en série, l'une d'elles pouvant s'amorcer moins vite que l'autre peut recevoir de celle-ci un courant en sens contraire à celui qu'elle produit elle-même. Elle absorbe donc en pure perte une partie du travail de l'autre, et son aimantation se trouve renversée. Le travail absorbé par ce dérangement peut amener la destruction des induits.

Pour éviter ces accidents, on emploie les dispositions suivantes :

1° Si les inducteurs sont montés en série (fig. 76), on relie ensemble les deux bornes + et les deux bornes — des

Digitized by Google

machines; puis on ajoute entre les bornes + un fil fin nommé *fil d'équilibre*.

2° Si les inducteurs sont en dérivation (fig. 77), on relie les deux bornes de même nom des machines et les extrémités correspondantes des deux circuits inducteurs.

3° Si les inducteurs sont à enroulement compound (fig. 78), on procède comme pour le cas n° 1; puis on rat-

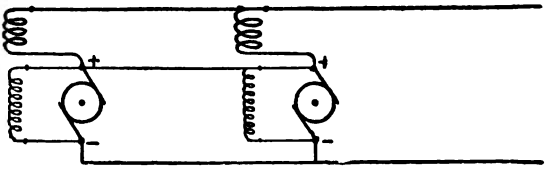


Fig. 78.

tache les bouts des fils fins au fil d'équilibre d'une part et aux bornes négatives d'autre part.

§ **78. Mise en marche et arrêt des machines.** — Avant d'atteler une dynamo sur un circuit, on commence par la faire marcher à vide pour constater si aucun organe ne s'échauffe. Puis on l'intercale dans le circuit. On marche d'abord à faible vitesse, et l'on augmente peu à peu le nombre de tours jusqu'à ce qu'on arrive à la vitesse normale. Comme nous le verrons dans le chapitre de l'Éclairage, on opère autrement quand on a à alimenter des lampes à arc; et dans ce cas on ne ferme le circuit des lampes que quand la machine a sa vitesse de régime.

Pour cesser le travail, on ne doit pas interrompre brusquement le circuit pendant que la machine est en pleine charge; il faut auparavant diminuer peu à peu le courant. Une interruption brusque peut produire des extra-courants capables de détruire l'isolement des fils dans la dynamo, et le moteur est exposé à s'emballer.

En parlant des lampes à incandescence et des régula-

Digitized by Google

teurs à arc, nous dirons quelles précautions on doit prendre dans chaque cas.

Une machine est construite pour un nombre de tours déterminé, qui est indiqué par le constructeur. Il faut le vérifier de temps en temps avec le vélocimètre. On doit installer aussi un ampèremètre et un voltmètre pour voir si l'intensité et la différence de potentiel restent dans les limites voulues. On peut constater encore le bon fonctionnement d'une machine en surveillant sa température. Quand elle s'échauffe, il faut en diminuer la vitesse ou introduire une résistance auxiliaire dans le circuit.

§ 79. **Machines excitées en dérivation et groupées en quantité.** — Quand plusieurs machines excitées en dérivation sont groupées en quantité, il y a quelques précautions à prendre pour leur mise en marche et leur arrêt.

Supposons deux machines, n° 1, n° 2, dans ces conditions (fig. 79).

Soient CC' le circuit extérieur, I, I' les inducteurs, R un régulateur de courant, A un ampèremètre; un interrupteur O est placé sur la dérivation du circuit principal, un interrupteur P sur la dérivation alimentant les inducteurs. Un voltmètre V peut être mis en communication avec chaque machine par un commutateur M.

Il peut se présenter deux cas : On veut mettre les deux machines en marche à la fois; ou bien on veut introduire la seconde dans le circuit pendant que la première fonctionne. Dans le premier cas, les résistances ayant été intercalées totalement dans chaque régulateur R, avant la mise en marche, on ferme les interrupteurs O, P. Quand les machines ont pris leur vitesse normale, on diminue peu à peu ces résistances, jusqu'à ce que le voltmètre indique la force électromotrice voulue pour chaque dynamo. Si l'ampèremètre d'une machine marque trop d'intensité, on

Digitized by Google

augmente la résistance de son régulateur jusqu'à ce que l'intensité soit la même pour les deux machines.

Supposons maintenant que la machine n° 1 étant en

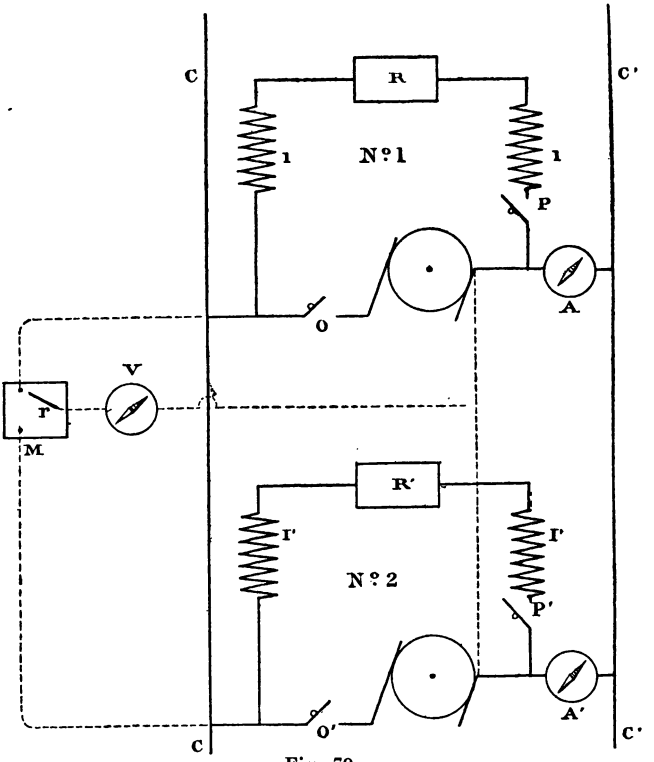


Fig. 79.

marche, on veuille lui adjoindre le n° 2. On fait tourner celle-ci, et quand elle a atteint sa vitesse de régime on ferme l'interrupteur P'. On mesure avec le voltmètre la tension au n° 1, et on donne la même tension au n° 2, en

Digitized by Google

manœuvrant son régulateur ; enfin on ferme l'interrupteur O'.

Pour arrêter la machine n° 2 seule, on augmente la résistance en R' jusqu'à ce que l'intensité du courant soit presque nulle ; on ouvre alors l'interrupteur O', puis P' ; et on débraie la machine.

Pour adjoindre une nouvelle machine dans un circuit, on emploie souvent, dans les grandes installations, des groupes de lampes placées dans la chambre des machines, et servant à créer des résistances qu'on intercale sur le circuit de la nouvelle machine avant de la relier au circuit principal. Ces groupes de lampes sont munis d'interrupteurs.

Dans ce cas, on dispose (fig. 80) 2 interrupteurs P, Q dans le circuit alimentant les inducteurs I, I ; l'interrupteur P sert à empêcher les renversements de pôles de la machine ; *m*, *n* représentent les 2 conducteurs dérivés alimentant le groupe de lampes ; un interrupteur B est placé sur la dérivation *m*.

La machine n° 1 étant déjà en marche, si l'on veut lui adjoindre le n° 2, on fait tourner celle-ci à sa vitesse de régime ; puis on ferme l'interrupteur P' pour alimenter les inducteurs. On ferme l'interrupteur B' ; on intercale peu à peu des lampes dans le circuit jusqu'à ce qu'on obtienne le même travail que dans le n° 1. En même temps on règle la tension avec le régulateur R'. Puis on ferme l'interrupteur O' ; on retire successivement les lampes du circuit, tout en agissant sur les régulateurs pour régler à la fois la force électromotrice dans les deux machines. On ouvre alors B', on ferme Q' et on ouvre P'.

Pour mettre la même machine hors du circuit, on ferme l'interrupteur B', et l'on intercale des lampes dans le circuit, de façon à avoir dans le n° 2 le même travail que le n° 1 devra fournir plus tard. On agit sur le régulateur

Digitized by Google

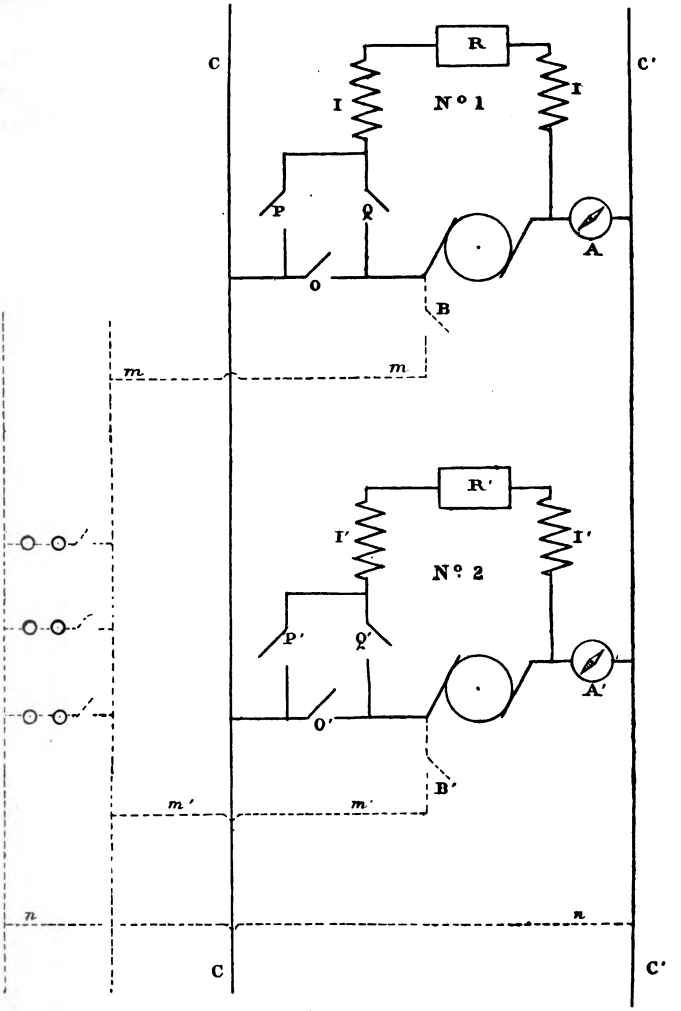


Fig. 80.

Digitized by Google

pour établir la force électromotrice dans cette machine. On ouvre alors O′; on retire peu à peu les lampes du circuit, et l'on arrête le n° 2.

§ **80. Accouplement des machines à courants alternatifs.** — On ne peut associer ces machines en série, parce que les courants y prennent des phases opposées d'alternativité et se neutralisent l'un par l'autre.

On peut au contraire les grouper en quantité, parce

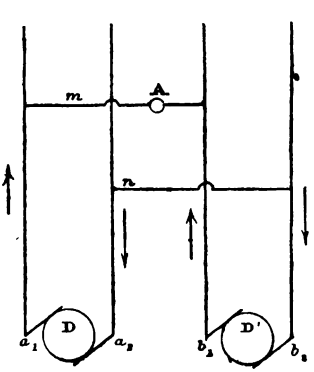


Fig. 81.

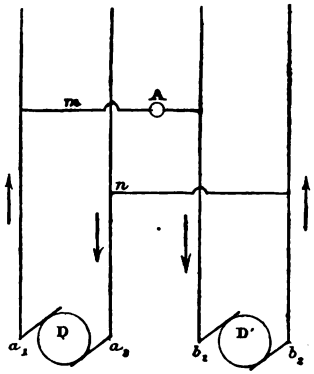


Fig. 82.

qu'il se produit en ce cas une concordance spontanée dans les différentes phases, et les courants s'ajoutent entre eux. Mais cette concordance s'établit quelquefois d'une façon brusque, et le courant extérieur subit une variation très rapide susceptible d'endommager les appareils. Si l'on peut accoupler les machines au moment où une de ces concordances s'établit, on évite ces inconvénients. Voici un moyen qui permet de reconnaître les moments où les courants s'accordent.

Si l'on réunit ensemble les bornes de même nom de deux machines à courants alternatifs, les deux dérivations

Digitized by Google

m, *n* ne seront traversées par un courant que quand les courants des deux machines seront de sens opposés, comme l'indique la figure 82 ; et ce courant aura une tension double de celle de chaque machine. Dans le cas contraire, quand les machines s'accordent, les conducteurs *m*, *n* ne reçoivent aucun courant (fig. 81). Si donc on place sur un de ces conducteurs une lampe à incandescence A d'une résistance appropriée, elle sera lumineuse ou obscure suivant que le courant passera ou non, c'est-à-dire

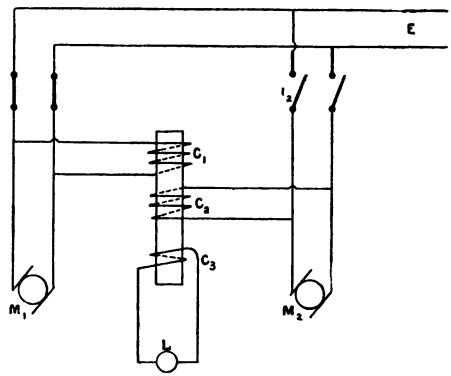


Fig. 83.

selon que les machines seront opposées ou en concordance. On n'a donc qu'à saisir le moment où la lampe devient obscure pour accoupler les machines.

Indicateur de phases. — Les courants alternatifs étant généralement employés à haute tension, on ne peut placer directement une lampe sur les fils *m*, *n* ; il est préférable de transformer le courant primaire en un courant à basse tension avant de l'envoyer dans la lampe.

L'appareil destiné à cet usage est disposé comme il suit (fig. 83). La première machine M_1 étant supposée en com-

Digitized by Google

munication avec le circuit extérieur, une dérivation prise sur ses bornes communique avec un fil C_1 alimentant une bobine d'induction à noyau de fer. La dynamo M_2 destinée à être associée en quantité avec la première, communique avec un second fil dérivé C_2, identique au premier et enroulé sur le même noyau. Enfin celui-ci porte un troisième enroulement C_3 en série avec une lampe-témoin L. Cet appareil fonctionne comme un transformateur dans lequel le troisième enroulement constitue le circuit secondaire. La lampe subit des fluctuations; elle brille quand les phases sont opposées et elle s'éteint quand les phases coïncident. Il suffit de saisir le moment où la lampe s'obscurcit, et on opère alors le couplage au moyen des clefs I_2.

Avant de faire le couplage, il faut que les deux machines soient dans les mêmes conditions de travail. On y arrive au moyen d'un cadre de résistance.

Voici la série d'opérations à effectuer pour accoupler une dynamo 2 à une dynamo 1 :

Chaque dynamo à courants alternatifs est munie d'une machine excitatrice. Avant de réunir 1 et 2, on accouplera leurs excitatrices. Dans ce but, celles-ci sont munies d'un cadre de résistance, afin que l'excitatrice 2 entrant en fonction ne dérange pas la tension du courant excitateur.

On mettra la dynamo 2 en marche : on y enverra le courant excitateur qui alimente la dynamo 1. On intercalera dans le circuit de 2 une résistance équivalente à celle qui existe dans le circuit de la dynamo 1; cette résistance sera indiquée par les ampèremètres. On établira alors le circuit de l'indicateur de phases. Quand la lampe s'éteindra, on fermera les interrupteurs placés entre les deux machines. Enfin on supprimera peu à peu les résistances du cadre.

Digitized by Google

MONTAGE DES MACHINES

§ **81.** — La salle des machines sera à l'abri de l'humidité, pour éviter les pertes d'électricité. Les fondations seront très solides, afin d'empêcher les trépidations; pour les machines à haute tension, le bâti en fonte de la dynamo et ses boulons seront bien isolés du sol. Dans ce but, on place entre la machine et la fondation un cadre en bois ou une couche d'asphalte, et l'on met sous la tête des boulons de la fibre isolante. Les trous des boulons sont revêtus de cette même matière.

Afin de tendre la courroie de transmission, on place souvent la dynamo sur une double glissière formée de deux rails entre lesquels s'engagent les boulons du socle. Pour tendre la courroie, on déplace la machine avec des leviers ou au moyen d'une vis.

Quand la dynamo est placée dans le voisinage de maisons d'habitations, il faut, pour éviter les bruits dus aux trépidations, que ses fondations soient indépendantes de celles des murs. L'emplacement choisi doit permettre l'accès facile de tous les organes. La plus grande propreté est indispensable. Sur les parties isolantes, les poussières et l'humidité peuvent produire des dérivations et des pertes de courant. Sur les parties métalliques, telles que les balais, le collecteur, ces corps étrangers créent une résistance et absorbent du travail.

§ **82. Moteurs.** — La question du moteur a une grande importance surtout pour l'éclairage. En effet, la fixité de la lumière dépend de la constance de la vitesse. Les variations dans les nombres de tours produisent, particulièrement dans les lampes à incandescence, des irrégularités

Digitized by Google

d'éclairage fort désagréables à l'œil et très nuisibles à la durée des lampes. Aussi doit-on éviter d'atteler des machines sur un moteur actionnant déjà d'autres outils, qu'on est exposé à débrayer souvent. Le travail de ces moteurs n'est jamais constant, et la vitesse de la dynamo ne peut être régulière. Il est préférable que ces machines aient un moteur spécial.

On peut rendre la marche du moteur plus régulière en mettant un volant plus lourd sur le moteur ou sur la transmission.

Les moteurs à gaz à un seul cylindre ne conviennent pas non plus pour cet usage. La force motrice produite par l'explosion du gaz procède par coups brusques suivis d'un ralentissement. Pour obtenir un mouvement uniforme dans ce cas, on doit munir le moteur d'un fort volant et ne pas trop tendre la courroie de commande.

Les moteurs à gaz à deux cylindres donnent une vitesse uniforme et conviennent bien pour actionner des dynamos; mais il est bon de prendre les précautions indiquées plus haut.

Pour les courroies commandant la dynamo, éviter les joints faits avec des vis, des boutons ou des boucles, adopter les joints cousus, ou de préférence encore les joints collés.

Le nombre de tours doit être vérifié très souvent. Car la force électromotrice est proportionnelle à ce nombre de tours. Pour cette vérification, on emploie un *compteur de tours*. L'appareil construit par M. Deschiens est d'un usage très commode.

Lorsque l'on est très limité par l'espace, comme à bord des navires, on ne peut employer les courroies de transmission; il faut donc que la dynamo soit commandée directement. On employait d'abord des moteurs à très grande vitesse tels que ceux de Mégy ou de Brotherood.

Digitized by Google

L'électricité prenant chaque jour une importance nouvelle sur les navires, on a cherché à réduire les vitesses, afin de substituer aux moteurs spéciaux les machines-pilons, types courants dans la marine. Ce but a été atteint par MM. Sautter et Lemonnier, par exemple, à bord du cuirassé l'*Indomptable*. La dynamo, du type Gramme duplex, c'est-à-dire à deux paires de pôles, tourne à 350 tours, et le moteur du type pilon est à deux cylindres compound. Le moteur et la dynamo sont montés dans le prolongement l'un de l'autre sur un châssis commun en fer à double T. L'accouplement est fait par un manchon flexible à ressort dispensant des précautions qu'exigerait un accouplement rigide. Cette question est importante, surtout dans la marine marchande, où l'on cherche à réduire autant que possible le personnel des mécaniciens.

L'emploi des dynamos à faible vitesse a été, dans le principe, recherché par la marine pour les raisons exposées ci-dessus, et, dans les autres installations, on continuait à se servir de dynamos à grande vitesse. On préférait accoupler ensemble plusieurs machines de petite dimension. La tendance actuelle est au contraire de remplacer ces groupes de machines par une dynamo unique de grande puissance. On cherche à réduire autant que possible les nombres de tours, de façon à atteler directement les dynamos sur leurs moteurs. Il existe, par exemple, un modèle de dynamo Desroziers qui produit 144000 watts à la vitesse de 250 tours. Citons également une machine de Siemens et Halske qui donne 2000 ampères et 140 volts à 80 tours. Notons encore une dynamo Edison fournissant 200000 wats à 135 tours. Les exemples de cette espèce sont nombreux aujourd'hui.

Un moteur à vapeur *à double effet* donnant, comme celui de l'*Indomptable*, 350 tours, c'est-à-dire 700 coups de pilon à la minute sur les bielles, est soumis à une allure

Digitized by Google

forcée qui présente peu de sécurité et entraîne à des dépenses d'entretien importantes. Et encore ces vitesses insuffisantes obligent-elles à employer des dynamos plus coûteuses.

Cette lacune a été comblée dans ces dernières années par les machines à grande vitesse *à simple effet* qui atteignent normalement 500 tours à la minute.

Nous citerons, parmi ces moteurs, la machine Westinghouse qui est très employée dans les stations centrales des États-Unis et a reçu déjà de nombreuses applications en Europe.

Ces machines sont peu encombrantes, très robustes et présentent une grande régularité de rotation; les organes mobiles plongent constamment dans l'huile, ce qui en rend l'usure insignifiante; enfin l'entretien peu coûteux est rendu fort simple par des pièces interchangeables.

La commande directe des dynamos a l'avantage de simplifier beaucoup l'installation, en supprimant tous les organes intermédiaires des transmissions. Le prix de revient est également moins élevé. Car une forte machine coûte moins cher, comme dépense première, que plusieurs dynamos équivalentes. On économise encore tout le travail absorbé par la transmission de mouvement. Enfin la distribution du courant se fait d'une manière plus simple.

§ 83. **Entretien de la machine. Accidents.** — Voici les accidents qui se produisent le plus souvent dans les machines, et qui se traduisent généralement par de fortes étincelles au collecteur :

1° Calage défectueux des balais, ou mauvais état des porte-balais;

2° Rupture du fil dans une bobine d'armature;

3° Déformation du collecteur, ou mauvais état de sa surface;

Digitized by Google

4° Court-circuit dans les bobines inductrices;

5° Surcharge de la machine, produite soit par un défaut dans le circuit extérieur, soit par un travail trop fort imposé à la dynamo.

Un mauvais isolement des conducteurs extérieurs ou un court-circuit existant entre eux diminue la résistance du circuit et augmente, par suite, l'intensité du courant.

Si, dans un circuit alimentant des lampes à incandescence en dérivation, on augmente le nombre des lampes allumées au-delà de la limite voulue, le même fait se produit. Dans ces deux cas, tous les organes de la dynamo s'échauffent.

Nous allons examiner successivement ces différents cas.

§ **84. Balais.** — Dans la théorie des machines, nous avons vu l'importance que présente le calage des balais au point de vue de la production du courant. L'entretien de ces appareils exige beaucoup de soins, à cause des étincelles qui se produisent aux points de contact entre les balais et le collecteur, et qui détériorent rapidement celui-ci. Le contact entre les parties frottantes doit être aussi parfait que possible; les balais doivent être bien appliqués sur le collecteur et faire un peu ressort. Il ne faut pas que la pression soit trop forte, ce qui userait les lames. Si la pression est insuffisante et si le collecteur offre une surface irrégulière, il se forme des étincelles.

Une poussière de cuivre se dépose sur le collecteur; il faut, chaque jour, l'enlever avec un soufflet et une brosse. On doit veiller à ce qu'il ne tombe pas d'huile sur cet organe.

Il est bon de nettoyer les balais de temps en temps avec de l'alcool ou du pétrole, mais on ne les remet en place que quand ils sont tout à fait secs.

Jamais on ne doit enlever un balai pendant la marche.

Digitized by Google

Pour les balais appliqués tangentiellement (fig. 84), quand ils ne sont pas encore usés, le bout ne doit dépasser la surface de contact que de 4 à 5 millimètres. Quand ils sont usés, pour les réparer, on les place dans une sorte de pince en bois maintenue dans un étau, on coupe le bout qui dépasse et on termine à la lime.

Les balais en biseau (fig. 85) doivent toucher le collecteur par toute leur surface oblique. Si quelques fils s'usent d'une façon anormale, on les enlève avec des ciseaux ou une lime, sans toucher au reste.

Tant que les balais sont au contact, il ne faut pas faire marcher la machine en arrière; sinon on s'exposerait à les

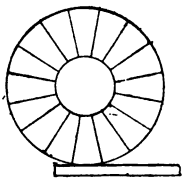


Fig. 84.

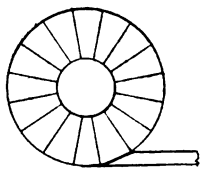


Fig. 85.

rebrousser. La machine peut quelquefois tourner en sens contraire en s'amorçant; dans ce cas, il faut éloigner les balais au repos; et, pour les appliquer de nouveau, on doit attendre que la machine soit en marche; on commence par une vitesse très faible, en ayant soin d'interrompre le circuit extérieur.

Quand la machine ne marche pas, il faut toujours maintenir les balais relevés.

Au lieu de constituer les balais avec des fils de cuivre, on les forme souvent d'une toile à tissu très serré faite avec des fils de cuivre de 0^{mm} 12 de diamètre. Cette toile, repliée plusieurs fois, est façonnée en forme de lame. Ces balais s'usent d'une façon très uniforme et s'appliquent bien sur le collecteur.

Digitized by Google

On fabrique maintenant des balais en charbon qui donnent de très bons résultats.

Sauf quelques cas particuliers, les points de contact des balais sont placés sur le même diamètre du collecteur. Pour trouver ces points, on compte les lames du collecteur comprises entre les balais des deux côtés; ou bien on se sert d'une bande de papier qu'on enroule sur le cylindre et qu'on partage en deux pour avoir cette distance.

Les porte-balais seront toujours tenus dans un parfait état de propreté, et le contact sera souvent vérifié entre les porte-balais et leurs boulons. Entre les boulons et la pièce qui les supporte il n'existera jamais d'huile ni de poussière; l'isolement sera complet.

§ **85. Collecteur.** — Un accident qui se présente fréquemment est la rupture du fil de l'armature dans le voisinage du collecteur. Ce défaut est occasionné soit par le calage imparfait du collecteur sur son arbre, soit par un mode d'attache défectueux du fil avec le segment correspondant.

Il arrive souvent aussi que le monteur, pour mettre à nu le bout du fil, fait avec un couteau une incision sur l'enveloppe isolante, pour pouvoir ensuite dénuder le cuivre. La rupture est souvent due à la rainure produite ainsi sur le métal. Cette manière de procéder doit être absolument interdite.

Si le cuivre a été obtenu par électrolyse et s'il est bien doux, les ruptures sont moins à craindre. Pour y obvier, on renforce les bouts des fils par des tubulures; mais le remède est imparfait, car le fil se brise quelquefois à son entrée dans le tube.

On reconnaît la rupture du fil à la production des étincelles, qui s'étendent autour du collecteur et détériorent les cloisons ainsi que les segments voisins du point de rup-

Digitized by Google

ture. Quand ce fait se produit, il faut arrêter immédiatement, car le collecteur serait brûlé très vite.

La déformation du collecteur donne lieu aussi à des étincelles. Cet inconvénient est produit par l'usure inégale de sa surface. L'expérience a montré que certaines parties d'un même collecteur s'usent plus vite que d'autres. Les collecteurs en bronze doux avec isolation au mica donnent de bons résultats ; mais ils exigent une surveillance continue. Le bronze dur est préférable dans les machines qu'on ne peut visiter continuellement, comme, par exemple, les moteurs de tramways.

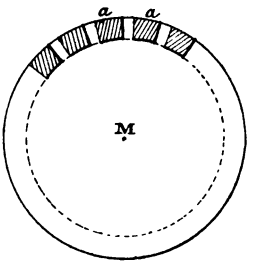


Fig. 86.

L'isolation à l'amiante est aussi très bonne ; mais il faut préalablement préparer les lames en les trempant 24 heures dans du verre soluble et les faisant ensuite bien sécher. Dans un commutateur construit de cette sorte, la rupture d'un fil n'entraîne pas la perte de l'appareil, même quand le défaut a duré quelque temps ; il suffit de remplacer la pièce compromise.

La Société alsacienne de constructions mécaniques de Belfort construit pour certains types de ses machines des commutateurs avec isolation par l'air ; ils sont formés de bandes d'acier *a*, *a* (fig. 86) simplement séparées l'une de l'autre, sans interposition de matières isolantes. La partie centrale M est vide.

Quel que soit le mode de construction adopté, le collecteur sera toujours maintenu parfaitement brillant. Quand sa surface a été endommagée par des étincelles, on le polit avec du papier de verre. Si les irrégularités persistent, on se sert de la lime. Ce travail exige le plus grand soin, car si la surface n'était pas absolument cylindrique et circulaire,

Digitized by Google

il se produirait beaucoup d'étincelles, et le défaut irait en s'aggravant. Quand on a fini avec la lime, on fait tourner la machine, et on frotte le collecteur avec du papier de verre fin.

Si le défaut du collecteur est trop grave, on le passe au tour. On peut le faire quelquefois sans démonter l'appareil, en fixant au bâti un chariot de tour. On fait tourner l'arbre à la main avec une manivelle qu'on adapte à la poulie de commande.

On peut, en huilant très légèrement la surface du collecteur, diminuer les étincelles; mais il faut beaucoup de précautions; la couche d'huile doit être très mince, et on l'essuie avec un chiffon sec. Un graissage mal fait augmente les étincelles.

§ **86. Armature.** — Parmi les travaux de réparation qu'exigent les armatures, il en est quelques-uns que l'on peut exécuter sur place, sans porter l'appareil à l'atelier. De ce nombre sont le renouvellement de bobines avariées et les réparations dans l'isolement des fils.

Dans le cas, par exemple, d'un anneau Gramme, où les bobines sont disposées en lignes parallèles indépendamment les unes des autres, si le fil est rompu ou l'isolement défectueux, on déroule la bobine en observant avec soin le sens et le nombre des tours, et on enroule un nouveau fil. Si l'on n'en a pas à sa disposition, on se sert de l'ancien fil qu'on soude et qu'on entoure d'une gaîne isolante. Comme cette gaine est ordinairement plus épaisse que la première, on rachète cette surépaisseur en diminuant un peu le nombre de tours de la bobine; le seul inconvénient est de réduire, d'une façon presque insensible, du reste, le travail de la dynamo.

Les soudures doivent être faites à la résine, et non à l'acide.

Digitized by Google

Ces réparations sont bien plus difficiles dans les armatures du genre Siemens, où les bobines se recouvrent entre elles. Quand la portion endommagée est placée dans l'intérieur, il est presque indispensable de faire le travail à l'atelier.

§ 87. **Court-circuit dans les bobines inductrices.** — Ce défaut se traduit encore par de fortes étincelles. Quand la bobine est à fil fin et qu'on a à sa disposition des instruments de précision, on vérifie la résistance de la bobine. Si l'on constate une diminution sur le chiffre réel, c'est qu'il existe un contact quelque part. Cette opération n'est plus possible avec les bobines à très gros fil ; car la résistance étant déjà très faible, l'écart devient parfois insensible. Dans ce cas, on peut opérer comme il suit. On place la bobine dans un champ alternatif intense, en maintenant ouvert le circuit. Si l'isolement présente un défaut, la partie en court-circuit forme une boucle où se produisent des courants induits, d'où résulte un échauffement immédiat de la bobine qui est ordinairement sensible à la main.

Quand un court-circuit se produit, la zone neutre du commutateur se déplace ; la position des balais n'est donc plus convenable, et il en résulte des étincelles. Pour chercher ce défaut, il faut procéder par éliminations successives, et voir d'abord s'il n'y a pas d'autres accidents dans la machine. On commence donc par examiner si le commutateur ne présente pas d'aspérités, si les balais fonctionnent bien, si la machine n'est pas surchargée. Quand on n'a constaté aucun défaut de cette nature, on enlève l'inducteur, on le met sur un tour, on dépouille la bobine, et on retire le fil qu'on enroule en même temps sur un dévidoir. Après la réparation faite, on remet de nouveau le fil sur sa bobine.

§ 88. **Recherche des défauts d'isolement.** — Dans une

Digitized by Google

dynamo, il faut que les porte-balais et les bornes soient isolés du reste de la machine.

La dynamo doit être isolée de la terre, et aucune communication ne doit exister entre sa masse métallique et son enroulement.

Pour vérifier un isolement, on fait un essai au galvanomètre. On place (fig. 87) un galvanomètre G sur le même circuit qu'une pile P, et en touchant simultanément avec les bouts libres du fil *a*, *b* deux points qui doivent être isolés l'un de l'autre, on ne doit pas apercevoir de déviation dans le galvanomètre. Pour voir, par exemple, si une borne est isolée par rapport au bâti, on touche le bâti avec

Fig 87.

le bout *a*, la borne avec le bout *b*. Si le galvanomètre dévie, c'est qu'il existe un défaut d'isolement entre ces deux organes.

On vérifie de même l'isolement des bobines inductrices par rapport au bâti.

Le même procédé sert à reconnaître une solution de continuité dans une bobine inductrice ou dans une bobine de l'armature. Il suffit d'attacher un bout de la bobine essayée à l'extrémité *a*, l'autre à l'extrémité *b*, et si le galvanomètre ne dévie pas, c'est qu'il y a interruption dans le conducteur.

Il existe des modèles très variés de galvanomètres portatifs assemblés à une pile de petite dimension. Le tout est contenu dans une boîte. Ces appareils sont très commodes, ils évitent un montage et forment un ensemble peu encombrant.

L'essai successif de toutes les bobines de l'armature

Digitized by Google

étant assez long par ce procédé, la méthode suivante permet de simplifier l'opération.

On met la dynamo en communication avec le circuit extérieur, et on la fait tourner. Puis, avec un bout de fil métallique *m n* (fig. 88), on touche deux points du collecteur comprenant entre eux plusieurs lames. S'il existe un point défectueux, on voit s'y former un arc électrique. Il faut aussitôt arrêter la machine; on retrouve la bobine défectueuse par la trace de brûlure du collecteur.

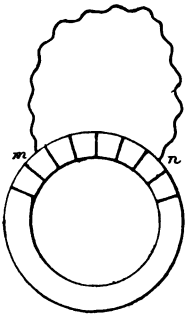


Fig. 88.

Quand il se produit pendant la marche un court-circuit entre deux sections de l'induit, il s'y développe une température très élevée, et l'on en est prévenu par une odeur de brûlé. On arrête aussitôt et l'on procède à une réparation. Le défaut peut résulter d'une communication établie entre deux lames du collecteur par des poussières; un nettoyage suffit. Si l'avarie est placée dans l'intérieur, il faut opérer un démontage.

§ **89. Refus d'amorçage.** — Si la machine ne fournit pas de courant, ce fait peut tenir aux causes suivantes :

Le magnétisme rémanent des inducteurs est trop faible. Dans ce cas, on amorce la machine.

Si elle est excitée en série, on la fait tourner à sa vitesse normale, et, pendant un temps très court, on met ses deux bornes en court-circuit par un fil métallique. Ce contact doit durer très peu de temps, sinon on pourrait détériorer le collecteur.

Si la machine est excitée en dérivation, on interrompt le circuit extérieur, on donne à la machine sa vitesse normale et l'on rattache rapidement le circuit extérieur.

Digitized by Google

Dans le cas d'une dynamo excitée en dérivation, le refus d'amorçage peut être dû à un court-circuit dans la canalisation. En ce cas, le courant alimentant les inducteurs est trop faible. Pour voir si ce défaut vient réellement de la canalisation, on détache un des conducteurs de sa borne, et l'on met une lampe à incandescence entre les deux bornes. Si elle ne marche pas normalement, le défaut est dans la dynamo; sinon il est dans le circuit.

L'absence de courant peut être due encore à des défauts d'isolement aux bornes, aux porte-balais, aux bobines inductrices. Il peut y avoir aussi court-circuit dans les bobines inductrices, interruption dans le circuit de l'armature ou dans celui des inducteurs. On vérifie ces défauts comme nous l'avons vu précédemment.

§ **90. Changement de polarité, redressement.** — Quand la dynamo sert à charger des accumulateurs, il peut se produire des inversions de polarité, comme nous le verrons en parlant de ces appareils (§ 104). La force contre-électromotrice des accumulateurs devenant supérieure à celle de la machine par suite d'un accident, il se produit dans les électros un courant de sens inverse au courant normal; les pôles changent de signes, et le courant de la dynamo se trouve interverti. Quand ce fait se produit, on arrête la dynamo; puis on attache son pôle + au pôle — de l'accumulateur, et réciproquement; on fait passer ainsi dans les électros un courant contraire à celui qui a produit l'accident; on remet la machine en marche, la tension augmente peu à peu dans le sens normal; et quand elle a atteint sa valeur, on rattache rapidement les fils à leurs bornes premières, et on établit la communication avec le circuit général.

§ **91. Précautions à prendre.** — Il faut éviter qu'aucun objet en fer ne se trouve près des pôles de la machine; car

Digitized by Google

il pourrait être attiré ; dans le même but, on ne doit faire à proximité aucune espèce de travaux pouvant produire de la limaille de fer. Aussi est-il recommandé de ne pas se servir pour le graissage de burettes en fer; on peut employer le zinc à cet usage.

Il est très important de ne jamais détacher subitement les conducteurs du circuit pendant que la machine est en marche. Si l'on a besoin de changer les communications, il faut arrêter la machine; sinon on pourrait fortement endommager les fils de l'armature.

Avec les machines à haute tension, 2 000 volts, par exemple, il est prudent, quand on touche un organe de la dynamo ou du circuit, de faire usage de gants en caoutchouc.

On ne doit pas se servir des deux mains en même temps pour toucher diverses parties du circuit, telles, par exemple, que deux balais opposés; parce que, s'il existe un point défectueux, le courant s'établit à travers le corps de l'opérateur qui peut recevoir ainsi un choc.

Quand on touche une machine, il faut se tenir sur une plateforme isolée. Si on a les pieds sur le sol, il ne suffit pas, pour être à l'abri du danger, que la dynamo soit isolée. Au contraire, dans ce cas, le péril est plus grand.

Il est imprudent de toucher d'une main le bâti de la dynamo, et de l'autre le circuit ou les balais.

Si l'on voit paraître un défaut dans l'isolement des électro-aimants, on répare le point faible en y passant une couche de bitume de Judée dissous dans de l'essence de térébenthine.

Pour nettoyer un organe quelconque d'une dynamo, on doit se servir de chiffons de toile non pelucheux, et jamais de déchets de coton. Pour les paliers des dynamos, employer la graisse minérale de première qualité.

§ **92. Recettes diverses**. — Voici quelques recettes qui

Digitized by Google

peuvent être utiles dans les travaux de réparation des machines :

Pour enduire les fils des dynamos, on peut employer le vernis suivant : on met 500 gr. de gomme laque blanche dans une bouteille de 2 à 3 litres, et l'on y verse 1 litre d'alcool à 40° Baumé. On agite fortement plusieurs fois chaque jour en exposant à une douce température. Après 15 jours on filtre.

Pour les gros fils, on applique le vernis à froid avec un pinceau. Pour les fils fins, on opère de même, après avoir étendu le vernis d'une quantité d'alcool égale à son volume.

Vernis. — On obtient un vernis pour papier isolant en dissolvant 1 partie de baume du Canada dans 2 parties d'essence de térébenthine. On chauffe légèrement et on filtre.

Pour noyau de bois, dans une bobine d'électro-aimant, on compose un vernis en dissolvant de la cire à cacheter dans de l'alcool à 90°. On applique plusieurs couches successives au pinceau, à froid.

Vernis pour la soie. — 6 parties d'huile bouillie, et 2 parties d'essence de térébenthine rectifiée.

Composition de Chatterton. — Cette composition sert à réunir entre elles les couches successives de gutta-percha placées sur les câbles :

Goudron de Stockolm.....	1 partie
Résine.....	1 id.
Gutta-percha.....	3 id.

Composition de Clark. — Sert à recouvrir les armatures des câbles :.

Poix minérale.....	65 parties
Silice.....	38 id.
Goudron.....	5 id.

On l'étend avec du chanvre : 1 volume de chanvre pour 2 de composition.

Digitized by Google

Glu marine. — Dissoudre en chauffant avec précaution : 1 partie de caoutchouc dans 12 parties de benzine, et ajouter 20 parties de laque en poudre ; appliquer au pinceau. Sert pour les récipients des piles.

Alliage de Darcet, fusible à 94° :

Plomb	5 parties
Étain	3 id.
Bismuth	8 id.

Digitized by Google

Digitized by Google

TROISIÈME PARTIE

TRANSFORMATION DES COURANTS ÉLECTRIQUES

CHAPITRE PREMIER

ACCUMULATEURS

Les courants électriques ne sont pas toujours utilisés directement tels qu'ils sont produits par les dynamos. Dans quelques cas on a intérêt à leur faire subir une transformation pour des raisons que nous exposerons plus loin. Les appareils servant à cet usage sont de deux sortes : les *Accumulateurs* et les *Transformateurs*.

§ **93. Théorie des accumulateurs.** — Les accumulateurs sont basés sur la polarisation dont nous avons parlé (§ 38). Quand on électrolyse, par exemple, de l'eau acidulée, l'oxygène se porte à un pôle, et l'hydrogène au pôle contraire. Mais ces deux gaz sont soumis à une force de polarisation qui tend à les recombiner pour reformer de l'eau. Si donc on supprime le courant, ou qu'on le diminue suffisamment, cette force de polarisation s'exerce et donne lieu à un courant de sens contraire au premier. On conçoit donc que, si l'on peut accumuler aux électrodes les éléments produits par le passage du courant, on constitue une provision de force électro-motrice, et l'on forme une véritable pile.

Digitized by Google

Tel est le principe des accumulateurs. Leur but est d'emmagasiner d'avance par la polarisation une grande quantité d'électricité, qui doit être restituée au moment voulu sous forme de courant.

La période pendant laquelle l'accumulateur est mis en rapport avec la source primaire d'électricité se nomme la *charge*. La seconde phase, où il restitue l'électricité emmagasinée, s'appelle *décharge*.

Un accumulateur, pour être industriel, doit remplir le programme suivant :

Emmagasiner la plus grande quantité d'électricité sous le volume et le poids minimum.

Avoir un bon rendement, c'est-à-dire restituer le plus possible du travail qui a été dépensé pour la charge.

Fournir un courant constant.

Il faut encore qu'on puisse régler la décharge à volonté suivant les applications.

Capacité. Puissance. — On appelle *capacité* d'un accumulateur le nombre d'ampères-heure qu'il peut fournir par kilogramme de matière employée. La capacité se rapporte soit au poids des plaques seules (capacité par kg. de plaques), soit au poids total (capacité par kg. de poids total, liquide et récipient compris). On suppose que la charge a été faite *à refus* et que la décharge est menée jusqu'à 1,8 volt.

La *puissance* est la quantité de travail qu'il peut fournir par seconde. On peut la rapporter au poids total ou au poids de plaques.

§ **94. Accumulateur Planté.** — L'invention de l'accumulateur est due à M. Planté.

Son appareil (fig. 89) est formé de deux lames de plomb baignant dans de l'eau acidulée au dixième par de l'acide sulfurique. Elles sont enroulées concentriquement en

Digitized by Google

spirale et maintenues par deux bandes de caoutchouc, qui servent à empêcher tout contact entre elles. Le tout est contenu dans un vase cylindrique en verre.

Pour la charge de cet élément, il faut 2 couples Bunsen ou 3 Daniell. La lame positive, c'est-à-dire celle qui communique avec le pôle positif de la source électrique, se revêt d'une couche brune de peroxyde de plomb; puis on voit s'y dégager de l'oxygène. La lame négative, qui était

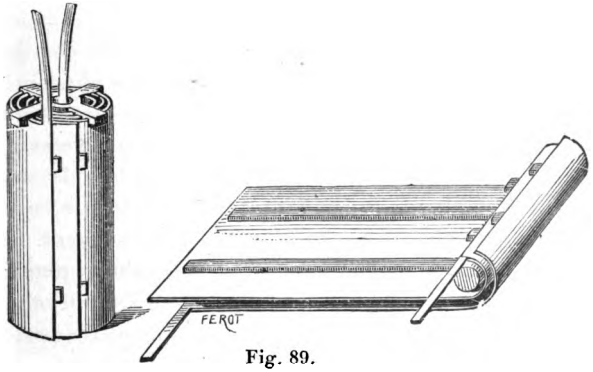


Fig. 89.

d'abord oxydée par l'air, devient brillante et se couvre de bulles d'hydrogène.

Quand la charge atteint son maximum, ce qu'on reconnaît au dégagement d'oxygène produit sur l'électrode positive, on arrête la source électrique, qui, à partir de ce moment, se dépenserait en pure perte.

Durant la décharge, c'est-à-dire quand on ferme sur lui-même le circuit de l'accumulateur, les deux lames se couvrent de sulfate de plomb. Voici les réactions qui se passent :

Pendant la charge, l'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau se porte sur la lame négative et réduit l'oxyde de

Digitized by Google

plomb qui la couvre ; la lame positive absorbe l'oxygène et se couvre de peroxyde. Au bout de quelque temps, cette lame est couverte d'une couche de peroxyde qui s'oppose à l'attaque du métal, et l'oxygène se dégage. C'est alors qu'on arrête l'opération. Durant la décharge, les pôles ayant changé de sens, la lame peroxydée absorbe l'hydrogène dégagé, et le peroxyde se change en protoxyde. L'oxygène abandonné vient oxyder la seconde lame. Le protoxyde existant sur les deux pôles forme du sulfate avec la liqueur du bain.

Si l'on soumet l'accumulateur à une nouvelle charge, le sulfate de plomb se décompose et les mêmes phénomènes se reproduisent. Mais la lame positive est pénétrée à une plus grande profondeur; la quantité de peroxyde est plus forte, et la provision d'électricité plus considérable.

Avant d'employer utilement un élément planté, on est obligé de le charger et de le décharger très souvent. Cette opération, qu'on appelle la *formation*, peut durer plusieurs mois; c'est là le principal inconvénient de cet accumulateur. La formation ne se fait pas uniquement par des charges et des décharges alternatives; on opère plus rapidement au moyen de renversements du courant primaire. De cette façon les deux lames s'oxydent également, et quand, après la décharge, elles reviennent à l'état métallique, elles ont une texture poreuse qui leur permet d'emmagasiner une plus grande quantité d'électricité. Un accumulateur ne produit son effet maximum que quand il a été profondément oxydé. Dans ce cas, on doit avoir soin, avant de changer le sens du courant, de décharger les éléments jusqu'à ce qu'ils ne donnent plus qu'un faible courant en court-circuit.

Mais, quand l'accumulateur a été formé, il ne faut plus changer le sens du circuit; car on dépenserait de l'électricité en pure perte pour réduire de l'oxyde de plomb qui

Digitized by Google

pourrait rester sur une plaque et pour oxyder la seconde.

Le couple secondaire, une fois formé, peut rester chargé durant plusieurs jours. Cependant il perd par le repos une certaine quantité d'électricité, et l'on a plutôt intérêt à le décharger immédiatement.

Les éléments d'une pile secondaire peuvent être groupés entre eux suivant la même règle que les couples primaires; on les réunit en tension, en quantité, ou suivant des combinaisons mixtes. On peut résoudre à leur égard les divers problèmes que nous avons exposés au sujet des piles (§ 47).

La forme en spirale des électrodes leur donne une grande surface sous un faible volume; et les 2 lames étant très rapprochées, sans interposition de corps étrangers, la résistance de l'élément est fort petite. Celle d'un élément ayant 50 décimètres carrés de surface totale, avec des lames éloignées de 5 millimètres, est de 0,04 à 0,06 ohm.

L'inconvénient des appareils Planté, *à formation directe*, est leur formation qui exige beaucoup de temps et de nombreuses manipulations; ils ne conviennent pas à l'industrie. On a essayé bien des moyens pour remédier à ce défaut. Quelques inventeurs ont cherché à augmenter la surface du plomb. D'autres ont imaginé d'appliquer sur les plaques de plomb des oxydes de plomb tout formés; c'est la *formation artificielle*. Nous allons passer en revue ces divers systèmes.

§ **95. Accumulateur Reynier.** — Dans cet appareil (fig. 90), les plaques positives et négatives sont en plomb et toutes semblables. La plaque est formée d'un plissé enchâssé dans un cadre fondu qui lui sert de support et de conducteur. Le plissé est fait d'une lame de plomb ayant 0,005 m. d'épaisseur. Cette bande est striée au laminoir. On l'introduit dans un moule en fonte laissant autour d'elle un vide qu'on remplit avec du plomb, pour constituer le

Digitized by Google

cadre. Ce cadre résiste au foisonnement du plomb pendant la formation, et il comprime fortement les matières pulvérulentes superficielles, qui sont mises ainsi en contact intime avec les parties conductrices de la plaque. Des prolongements venus de fonte avec le cadre servent de conducteur et de support.

La formation des plaques s'opère comme pour l'accu-

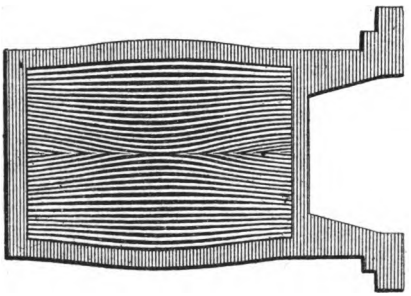


Fig. 90.

mulateur Planté; on la rend plus rapide en attaquant d'avance le métal par l'acide azotique.

Les dimensions de la plaque sont : largeur 0,140 m., hauteur 0,245 m., épaisseur 0,005 m. Le poids du plissé est 650 gr., le poids total 1 300 gr. Les modèles ne diffèrent que par le nombre des plaques, qui est toujours un nombre impair, de façon que la première et la dernière soient négatives.

La capacité est d'environ 6 ampères-heure par kg. de plaque, ou 4 amp-h. par kg. de poids total.

La charge exige 2 à 2,2 volts; la force électromotrice de décharge est de 1,8 à 1,6 volt, et se maintient de 7 à 8 heures.

Ces appareils sont solides et ont une assez grande durée.

Digitized by Google

§ **96. Accumulateur de Montaud.** — Le programme que s'est proposé l'inventeur est : formation rapide, grande surface, écartement symétrique entre les différentes parties des deux plaques voisines.

Pour la formation on n'a pas recours aux renversements de courants dont nous avons parlé. Voici le principe sur lequel on s'appuie :

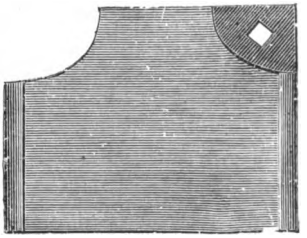


Fig. 91.

Si dans un bain alcalin saturé, où l'on a dissous de la litharge, on plonge deux électrodes en plomb, et qu'on fasse passer un courant, l'anode, au lieu de se dissoudre, se couvre de peroxyde de plomb; la cathode se couvre de plomb réduit. Avec un courant de 0,054 ampère par centimètre carré de surface de plaque, la formation dure à peu près une demi-heure.

La cathode ainsi formée doit être bien lavée, conservée dans l'eau à l'abri de l'air et soumise à une forte pression qui lui donne plus de solidité.

Les plaques sont rectangulaires (fig. 91). A l'un des coins est une oreille présentant deux épaisseurs de plaque, pour recevoir une tige de plomb antimonieux qui réunit les plaques de même nom. Les angles des plaques sont ensuite repliés et soudés à la tige; au coin opposé est une échancrure pour le passage de la seconde tige. Les plaques positives et négatives sont ainsi intercalées. L'écartement est maintenu par des peignes en bois placés en bas, le dos au fond du récipient. Le dos empêche les plaques de descendre, et les parcelles de plomb qui se détachent ne peuvent établir de contact entre les plaques.

Le liquide est formé de deux volumes d'acide sulfurique

Digitized by Google

pour 13 volumes d'eau distillée. La capacité est d'environ 10 ampères-heure par kg. de plaque, et de 3,3 ampères-heure par kg. de poids total.

La durée des plaques positives est d'à peu près un an par millimètre d'épaisseur. Dans les modèles courants, les plaques positives ont 3 mm., les négatives ont 2 mm.

§ 97. **Accumulateur Faure.** — Pour éviter les charges et décharges de formation, M. Faure a imaginé de fixer mécaniquement l'oxyde de plomb sur ses plaques, au lieu de le déposer par l'électrolyse. On réduit ainsi le temps nécessaire à l'opération; mais l'oxyde est moins adhérent que par la formation directe. L'accumulateur Faure se compose de 2 lames en plomb recouvertes de minium mis en pâte avec de l'eau. Ces lames sont entourées de papier parcheminé et renfermées dans un fourreau de feutre; puis on les enroule concentriquement et on les place dans de l'eau acidulée.

Ce système a deux grands défauts : Le feutre se détériore. Le minium n'adhère pas au plomb.

§ 98. **Accumulateur Faure-Sellon-Volkmar ou E. P. S.** — MM. Sellon et Volkmar ont perfectionné le système de M. Faure. Leurs plaques sont composées d'un grillage en plomb, dans les alvéoles duquel se loge la pâte d'oxyde. Mais celle-ci se dilate, en se transformant en peroxyde pendant la charge; il en résulte des gondolements qui peuvent produire des contacts entre les plaques et détacher les pastilles de leurs alvéoles.

Pour empêcher ces contacts, les plaques sont séparées entre elles par des anneaux en ébonite qui entourent les plaques positives.

Les plaques négatives sont reliées par 5 traverses en plomb qui les maintiennent invariablement. Deux d'entre elles, soudées dans le bas, reposent sur des tasseaux de bois dans le vase en verre; deux autres sont à mi-hauteur

Digitized by Google

des plaques et portent des petits blocs en ébonite, sur lesquels s'appuient des saillies présentées par les plaques positives. Celles-ci ne descendent donc pas jusqu'au fond du vase. La cinquième traverse est en haut et sert de conducteur.

La carcasse des plaques est faite avec un alliage de

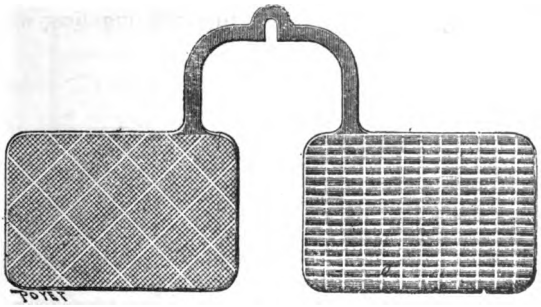


Fig. 92.

plomb et d'antimoine; la pâte d'oxyde forme $\frac{1}{3}$ du poids total de la plaque.

Alternativement positives et négatives, elles sont placées dans un vase contenant de l'eau avec $\frac{1}{10}$ d'acide sulfurique en volume.

Les éléments sont fabriqués sur 2 types, suivant qu'ils doivent fournir une décharge rapide ou lente.

Les premiers (type S) ont une capacité de 12 amp.-h. par kg. de plaque, et 8 par kg. de poids total.

Pour les seconds (type L), ces capacités sont 9 et 6 amp-h.

§ **99. Accumulateur Philippart.** — Un nouveau perfectionnement apporté par M. Philippart permet d'assembler les plaques, en évitant les soudures et les jonctions,

Digitized by Google

excepté pour les plaques extrêmes d'une batterie. Les plaques, fabriquées d'une seule pièce jumelle (fig. 92), comprennent une positive et une négative réunies par un pont en alliage de plomb et d'antimoine. Voici comment on monte une batterie :

Les plaques positives extrêmes (fig. 93), contenues dans le récipient n° 1, sont réunies par un collecteur A. Entre elles on loge les négatives de plaques jumelles, dont les

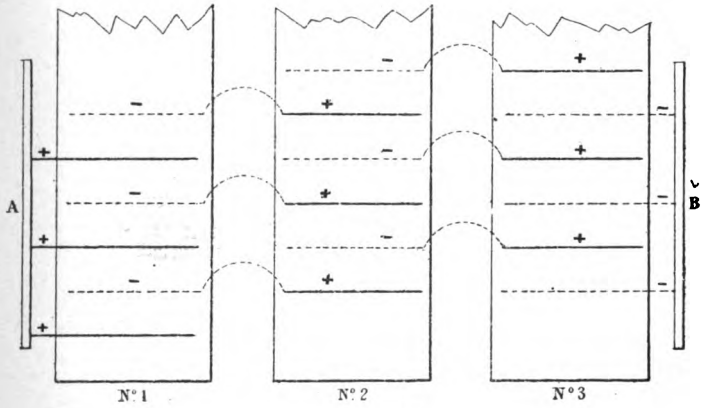


Fig. 93.

positives plongent dans le récipient n° 2. Entre celles-ci on met les négatives d'une nouvelle rangée de plaques jumelles, dont les positives plongent dans le récipient n° 3. Entre celles-ci sont intercalées les plaques négatives extrêmes réunies par un collecteur B.

Ce système facilite le montage. Les plaques, sauf celles qui sont reliées aux collecteurs, peuvent être enlevées sans interrompre la marche. Un court-circuit produit entre deux plaques n'affecte pas les autres. Mais ce dispositif exige un grand emplacement. De plus, une plaque

Digitized by Google

usée nécessite le remplacement de celle qui lui est accouplée.

La capacité de ces éléments est d'environ 10 amp.-h. par kg. de plaque, et 6,6 par kg. de poids total.

Voici les types adoptés par les constructeurs :

ACCUMULATEURS PHILIPPART

TYPES	COURANT NORMAL à la charge	COURANT NORMAL à la décharge	POIDS total	CAPACITÉ totale	PRIX
	Ampères	Ampères	Kg.	Ampères-heure	Francs
00	5	10	7	50	25
0	10	20	13	100	40
1	15	25	20	150	60
2	20	30	30	200	70
3	30	45	45	300	90
4	40	60	60	400	105
5	60	90	85	600	150
6	80	120	110	800	190
7	100	150	130	1 000	235
8	150	200	200	1 500	350
9	200	300	360	2 000	470

§ **100. Accumulateur Julien.** — Il diffère de l'accumulateur E. P. S :

1° Par l'âme des plaques qui est formée d'un alliage inoxydable comprenant : 95 0/0 plomb, 3,5 antimoine, 1,5 mercure.

2° Par la forme des alvéoles ; celles-ci, au lieu d'être faites par un simple quadrillage, affectent la forme d'auges qui ne peuvent laisser échapper la pâte d'oxyde.

3° Par la perforation de la matière active au centre des alvéoles.

Ces différentes particularités font que le support est inoxydable, que la matière active est adhérente, et que la capacité se trouve augmentée.

Digitized by Google

Cet accumulateur est appliqué surtout à la traction des tramways. La capacité de l'élément est 10 amp.-h. par kg. de plomb, et 8 amp.-h. par kg. de poids total. Le débit normal varie de 1 à 1,5 amp. par kg. de plomb, mais on peut atteindre 2,5 amp. sans inconvénient.

§ **101. Accumulateur Gadot et Pisca.** — Les plaques comportent une série de rainures horizontales remplies par la matière active. Le montage présente quelques particularités intéressantes. Cette question est fort importante; car (on ne saurait trop le répéter) le mauvais fonctionnement des accumulateurs provient presque toujours d'un défaut d'entretien. Dans l'appareil de MM. Gadot et Pisca, les plaques sont suspendues dans le liquide sans l'intermédiaire de tasseaux; elles reposent par le haut sur les rebords du récipient, de façon à laisser au-dessous d'elles un grand espace libre. Ainsi les particules détachées des plaques peuvent s'amasser dans le fond sans créer de courts-circuits.

On a complètement rejeté l'emploi de matières susceptibles de se déformer ou de s'altérer, comme le bois, le caoutchouc, les vis, boulons, etc.; on n'emploie que des pièces en verre ou en porcelaine. Les plaques sont maintenues à distance les unes des autres par des tubes verticaux en porcelaine. Le montage se fait facilement, et la disposition des appareils permet de visiter et de nettoyer l'intervalle entre les plaques, même en marche.

La capacité électrique à débit normal varie de 5 à 7 amp.-h. par kg. de plaque.

§ **102. Accumulateurs au cuivre Commelin, Desmazures et Bailhache.** — Cet appareil diffère complètement des précédents en ce qu'il ne contient pas du tout de plomb. La lame négative est en fer étamé, la positive en cuivre poreux.

Digitized by Google

Le liquide est une solution de zincate de potasse additionnée de chlorate de potasse.

Pendant la charge, le zincate se décompose; le zinc se dépose au pôle négatif, l'oxygène vient sur le cuivre qui s'oxyde, et la potasse reste dans la liqueur.

Pour la décharge, on a donc une vraie pile à zinc, oxyde de cuivre et potasse, comme celle de MM. de Lalande et Chaperon (§ 46).

Les plaques positives sont formées en comprimant du cuivre pulvérulent à une pression de 60 à 120 atm. On obtient ainsi une plaque solide, mais spongieuse et capable d'absorber rapidement les gaz. Le récipient est en tôle étamée; le fond supporte la plaque négative, et de cette façon sa surface s'ajoute à celle des électrodes.

La force électromotrice utilisable de cet élément est seulement 0,85 volt. Il n'est pas appliqué dans l'industrie.

§ **103. Comparaison des différents systèmes.** — Comme nous l'avons vu précédemment, les éléments à formation directe, du genre Planté, présentent un grand inconvénient, c'est la lenteur de leur formation, et par suite, la dépense exigée par cette opération; mais ils offrent un avantage, c'est que l'oxyde de plomb, au lieu d'être appliqué mécaniquement, est formé par une action chimique et possède une forte adhérence; on peut donc faire supporter aux éléments des courants excessifs et des variations brusques sans les désagréger profondément. En outre, plus les plaques sont vieilles, plus l'attaque y pénètre profondément, et plus la capacité de l'élément augmente. Ces accumulateurs s'améliorent par l'âge, au lieu de s'user comme ceux de formation artificielle.

En appliquant mécaniquement l'oxyde sur les plaques, on a simplifié la construction et diminué la dépense; mais au prix d'un autre inconvénient, c'est la faible durée de ces

Digitized by Google

appareils. Au moment de la charge, les pâtes des plaques positives augmentent de volume et foisonnent ; pendant la décharge, il se produit un retrait. Ces effets sont moins accentués dans les plaques négatives. Ces dilatations et ces contractions successives finissent par détacher les pâtes. Il y a donc perte de matière active et diminution de capacité de l'élément. En outre, ces matières peuvent occasionner des contacts entre les plaques et des courts-circuits. Cet effet est surtout à redouter dans les batteries soumises à des variations brusques et à des trépidations. Nous avons vu précédemment comment les constructeurs ont cherché à éviter ces inconvénients.

Tous les accumulateurs, tant à formation directe qu'artificielle, présentent un défaut commun, c'est leur poids. On compte pour les types ordinaires une capacité moyenne de 6 amp.-h. par kg. de plaques, ce qui représente 63 kg. par cheval-heure, et environ 100 kg. quand on tient compte du liquide et du récipient.

Un autre inconvénient des accumulateurs est d'exiger un entretien très minutieux. Si, dans un élément, la couche liquide comprise entre deux plaques n'est pas homogène, la conductibilité n'est plus uniforme, le courant passe d'une façon inégale, et les plaques se déforment. Ce défaut va sans cesse en s'aggravant, et des contacts s'établissent, surtout quand les appareils sont soumis à un travail exagéré. C'est dans les plaques positives que ces déformations sont le plus sensibles. Grâce à ces courts-circuits, les éléments se déchargent d'eux-mêmes, et il arrive parfois qu'ils ne donnent plus de courant. Cet exposé montre tout le soin qu'exigent les accumulateurs. Leur entretien ne peut être confié à un simple ouvrier ; il exige des connaissances spéciales. On ne saurait trop insister sur cette question d'entretien qui est capitale pour les accumulateurs.

Digitized by Google

EMPLOI DES ACCUMULATEURS

§ **104. Charge des accumulateurs.** — Tous les appareils producteurs de l'électricité peuvent servir à charger les accumulateurs; mais, dans l'industrie, on n'emploie jamais à cet usage que des dynamos à courant continu. Dans cette opération, on doit éviter avec grand soin qu'il ne se produise des inversions de pôles. En effet, pendant la charge, il se développe entre les deux électrodes une force de polarisation contraire à la force qui produit la charge. Si, à un moment donné, elle lui devenait supérieure, à cause, par exemple, d'une diminution de vitesse de la dynamo, le courant s'établirait en sens contraire. Il faut donc que, dans les dynamos destinées à cet usage, les électro-aimants soient excités en dérivation ou par une machine séparée.

Cette force contraire est nulle au début et va en augmentant. La force électromotrice de la dynamo pourrait donc être trop grande en commençant, et l'intensité serait trop considérable. Pour l'empêcher, on interpose dans le circuit principal ou dans le circuit d'excitation une résistance qu'on fait varier. On peut encore, pour arriver au même but, modifier le groupement des accumulateurs ou changer la vitesse de la dynamo.

Pour reconnaître sans appareils spéciaux le sens du courant pendant la charge, on peut employer le procédé suivant indiqué par M. H. Fontaine. On fixe l'une des extrémités d'un fil de cuivre à un élément placé au milieu de la batterie. A l'autre extrémité du fil, on adapte une petite lame en plomb assez mince pour pouvoir être introduite dans un accumulateur. On plonge cette lame, pendant la charge, tantôt dans le premier, tantôt dans le dernier élément. D'un côté, le plomb brunit en se peroxydant;

Digitized by Google

de l'autre côté, il prend l'aspect métallique. Ce résultat s'obtient en moins de 15 secondes. Le courant va de l'élément où le plomb se dépose à l'élément où le plomb se peroxyde.

La force électromotrice de la dynamo employée à charger des accumulateurs doit dépasser d'environ 10 p. 100 la force maxima que prendra la batterie.

Cette limite étant de 2,5 volts pour chaque élément, la machine devra fournir au moins un nombre de volts égal au produit de (2,5 + 0,25) par le nombre d'éléments associés en série.

L'intensité maxima de charge varie avec les modèles et elle est indiquée par les constructeurs ; elle est en moyenne de 0,7 à 1 ampère par kg. de plaques. Une trop grande intensité échauffe les éléments et les détériore.

Vers la fin de la charge, il est bon de diminuer peu à peu l'intensité; on y arrive en intercalant des résistances variables soit dans le circuit d'excitation de la dynamo, soit dans le circuit de la charge.

Le temps nécessaire à la charge s'obtient en divisant la capacité totale de l'accumulateur exprimée en ampères-heure par l'intensité de charge exprimée en ampères.

Pendant la charge, il est utile d'accoupler les éléments de façon que leur résistance totale soit environ le triple de celle de la machine.

La fin de la charge est indiquée par le bouillonnement du liquide. Mais cette indication n'est pas toujours exacte. On obtient des renseignements plus précis au moyen du densimètre. En effet, pendant la charge, la couche de sulfate de plomb de la lame positive se change en bioxyde de plomb, celle de la lame négative se transforme en plomb métallique. Le poids des plaques diminue donc au profit du liquide.

La densité de celui-ci atteint son maximum quand la

Digitized by Google

charge des éléments est complète. Comme on connaît le poids de sulfate de plomb décomposé par un coulomb, on peut calculer facilement la quantité d'électricité qui, à un moment donné, a traversé l'accumulateur, d'après le poids d'acide sulfurique contenu par le liquide ou d'après sa densité.

L'expérience prouve que, quand les éléments sont chargés, la densité normale du liquide est 1,220 ; quand ils sont épuisés, elle est de 1,150.

On peut donc reconnaître la fin de la charge aux indices suivants :

Le bouillonnement du liquide ;

La densité du liquide qui est 1,220 ;

La force électromotrice qui atteint 2,5 volts par élément.

Pour maintenir constante la capacité d'une batterie, il faut lui donner un excès de charge. Si l'on se règle, par exemple, sur le bouillonnement, il ne faut pas arrêter la charge au moment où celui-ci se produit, il faut prolonger encore pendant une dizaine de minutes; en opérant ainsi, on sacrifie, il est vrai, un peu du rendement.

§ **105. Disjoncteur automatique.** — M. Hospitalier a imaginé un appareil établissant ou coupant automatiquement la communication avec la dynamo, suivant que la force électromotrice de celle-ci est supérieure ou inférieure à celle de l'accumulateur.

Cet appareil (fig. 94) comporte un aimant NS, et une tige en fer doux oscillante *a*, placée dans une bobine fixe B. Celle-ci est entourée de deux fils, l'un long et fin, *e f i*, l'autre gros et court EFI. La tige *a* s'aimante par l'effet des courants traversant la bobine, et, suivant le sens du courant, elle peut prendre deux positions différentes, entraînant avec elle un basculeur en cuivre M, muni de trois appendices plongeant dans des godets en fer remplis de mercure, G, *g*, *g'*.

Digitized by Google

Le fil fin de la bobine est monté en circuit avec les

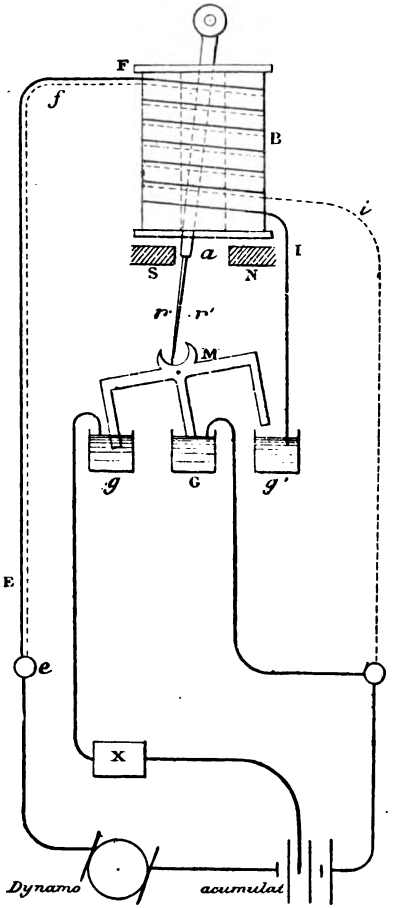


Fig. 94.

accumulateurs et la dynamo. Lorsque celle-ci produit une force électromotrice supérieure à celle de l'accumulateur,

Digitized by Google

le courant, qui est de même sens dans le fil fin et le gros fil, aimante la pièce *a* de telle sorte que le basculeur établit le contact entre les godets G et g'; le circuit de charge se trouve fermé.

Si la force électromotrice de l'accumulateur devient supérieure à celle de la dynamo, le courant change de direction dans la bobine; la pièce *a* est attirée par le pôle S de l'aimant, et le basculeur établit la communication entre G et *g*, comme l'indique la figure; il rompt le circuit du gros fil et ferme le circuit des accumulateurs sur une sonnerie X.

Deux butoirs *r*, *r'* permettent de régler l'amplitude des oscillations de la tige *a*.

Le système fonctionne donc automatiquement, suivant que la force électromotrice de l'accumulateur est supérieure ou inférieure à celle de la dynamo. La résistance du fil fin de la bobine varie de 300 à 2 000 ohms, suivant le nombre d'accumulateurs en tension qu'il s'agit de charger. C'est afin de dépenser très peu de courant quand la machine ne charge pas.

§ **106. Mise en marche et arrêt.** — Pour charger des accumulateurs avec une dynamo, on ne doit mettre les accumulateurs dans le circuit que quand la machine a pris sa vitesse normale. Quand la charge est terminée, la première chose à faire est de retirer les accumulateurs du circuit. Cela fait, on réduit la tension aux pôles de la dynamo, et on arrête la machine. Ces précautions sont nécessaires pour empêcher les inversions de courants.

§ **107. Décharge.** — La force électromotrice d'un élément, au début, c'est-à-dire au moment même où il vient d'être formé, est 2,50 volts; quelques minutes après, ce chiffre baisse, et la force électromotrice pendant la décharge est en moyenne de 2 volts.

Digitized by Google

Au bout de quelques heures cette force diminue. Il est bon alors d'avoir à sa disposition quelques éléments de renfort, que l'on intercale dans le circuit au moyen d'un commutateur, et qui permettent de prolonger un peu la durée de la décharge. On peut encore intercaler dans le circuit une résistance variable qu'on diminue progressivement à mesure que la force électromotrice baisse. On ne doit jamais pousser l'opération jusqu'à ce que la tension devienne inférieure à 1,9 volt.

Après la décharge, si on laisse l'accumulateur reposer un peu, on obtient une seconde décharge moins forte que la première, et ainsi de suite, pendant une période plus ou moins longue. C'est pour cette raison que la décharge est plus complète quand on la fait en plusieurs fois.

L'intensité fournie décroît lentement si le circuit présente une grande résistance. Dans le cas contraire, l'écoulement est plus rapide. La durée de la décharge dépend donc de la résistance extérieure. Une décharge trop rapide doit être évitée, parce qu'elle peut entraîner la déformation des plaques.

Pour obtenir un bon rendement, il ne faut pas, en général, que le débit dépasse 1 amp. par kg. de plaques.

Il ne faut jamais épuiser complètement un accumulateur; on doit lui laisser une réserve d'environ 25 p. 100. Dès que la tension descend au-dessous de 1,9 volt, il faut recharger. En effet, quand les plaques sont déchargées presque complètement, la matière remplissant les alvéoles se trouve transformée tout entière en sulfate de plomb, qui est susceptible de se changer en sulfate d'ordre plus élevé et peut amener des gondolements quand les plaques sont en charge.

§ **108. Entretien.** — Les accumulateurs doivent être placés dans un endroit sec, à une température aussi uni-

Digitized by Google

forme que possible, jamais dans le même local que les machines, à cause des vapeurs acides qu'ils dégagent. La pièce doit être bien ventilée, eu égard aux gaz détonants qui se produisent.

Il faut que les récipients soient parfaitement isolés du bâti qui les supporte. Le récipient repose sur des isolateurs en verre ou en porcelaine. Pour plus de sûreté, on peut employer la disposition suivante. Les isolateurs du récipient portent sur un cadre en bois goudronné, et ce dernier, par l'intermédiaire d'une seconde rangée d'isolateurs, repose sur le bâti. Il est bon, pour avoir toute sécurité, de monter les batteries sur des isolateurs munis de godets à huile. On obtient ainsi un isolement parfait, et l'on n'a pas à craindre les pertes qui peuvent se produire par l'humidité déposée sur de simples isolateurs en verre ou en porcelaine.

Les récipients doivent être séparés entre eux par un vide de 2 à 3 centimètres environ, qui sert à les isoler et permet, en outre, de les nettoyer et de les remplacer.

Le mauvais fonctionnement d'un accumulateur résulte presque toujours d'un manque de surveillance; il ne faut pas qu'un défaut se produise sans qu'on y porte aussitôt remède. Les accidents qui se présentent le plus souvent sont :

1° Des pertes à la terre produites par un défaut d'isolement. Pour vérifier l'isolement, on mouille ses doigts avec de l'eau acidulée, et on les pose sur la planche qui supporte l'auge. Si l'on ressent une secousse, c'est que l'isolement est imparfait. Quand la dynamo donne plus de 100 volts, cet essai devient dangereux. De même si, en touchant les connexions, on éprouve une sensation de chaleur, c'est qu'il existe un défaut.

2° Une seconde cause d'accidents provient de contacts; les plaques se touchent entre elles, ou bien elles touchent

Digitized by Google

les parois de l'auge ; ce fait est dû à des gondolements des surfaces, à des boursouflements de la pâte, ou à du sulfate de plomb qui s'interpose entre les lames. Il s'établit ainsi des courts-circuits dans l'élément et des pertes d'électricité ; en outre, l'élément ne peut plus se charger.

Pour surveiller le fonctionnement des accumulateurs, on se sert des instruments suivants : 1° un densimètre pour constater la densité du liquide ; 2° un voltmètre assez puissant pour mesurer la tension totale de la batterie ; 3° un petit voltmètre sensible, gradué en dixièmes, de 0 à 3 volts, permettant de mesurer la force électromotrice de chaque élément séparé ; 4° un ampèremètre.

Tous les jours, on doit vérifier la force électromotrice de la batterie ; on se base sur cette règle que la tension moyenne d'un élément est de 2 volts. Si le nombre total des volts divisé par le nombre des éléments ne dépasse pas 2, chaque élément doit être essayé séparément avec le petit voltmètre, jusqu'à ce qu'on rencontre un élément s'abaissant au-dessous de 1,80 volt. Si la différence n'est pas très notable, on se contente de redresser les plaques au moyen de deux lames de bois dur taillées en coin qu'on introduit entre les plaques ; puis on racle les boursouflures avec une latte en bois qu'on promène dans les intervalles des plaques.

Mais, si la force électromotrice est tombée trop bas, l'élément ne peut plus se charger ; il faut le mettre hors circuit et le remplacer par un élément de rechange. Alors on redresse ses plaques, on ôte les bavures, on change le liquide et on procède à une nouvelle formation, c'est-à-dire qu'on le soumet au courant de charge, jusqu'au moment où la force électromotrice reprend sa valeur normale.

On doit encore constater au densimètre la densité du liquide ; comme nous l'avons vu précédemment, cette indication renseignera sur l'état des éléments.

Digitized by Google

Il est utile, tous les 2 mois environ, de passer entre les plaques la lame de bois pour les nettoyer. Il faut aussi, tous les 6 mois au moins, vider les bacs, laver les plaques avec une brosse en fils de fer imbibée du liquide du bain, et renouveler ce liquide.

Électrolyte. — Le liquide doit toujours être préparé d'avance, et on ne le verse dans les récipients qu'après refroidissement complet. Pour le préparer, il faut toujours verser lentement l'acide sulfurique dans l'eau, qu'on agite constamment avec une baguette de verre. En versant l'eau dans l'acide, on s'expose à des projections de liquide. L'eau sera aussi pure que possible et exempte de calcaires.

Il ne faut jamais ajouter d'acide pur dans les batteries.

Entretien des plaques. — Quand les plaques sont usées, on peut renouveler la matière active de la façon suivante :

Pour les plaques positives, on mélange du minium avec de l'eau acidulée contenant 2 parties d'eau pour 1 partie d'acide sulfurique. Cette pâte devient rouge-brun foncé. On ajoute de l'acide sulfurique jusqu'à ce que la couleur rouge du minium disparaisse complètement. La pâte est alors formée presque tout à fait de sulfate de plomb. On la bourre dans les alvéoles, on la comprime et l'on fait sécher pendant 24 heures. Au lieu de minium, il vaut mieux employer du peroxyde de plomb puce; car le minium contient toujours du carbonate.

Pour remplir les cathodes, on fait une pâte semblable avec de la litharge.

L'état d'une plaque est indiqué par la couleur de ses bords. Si le bord d'une plaque positive présente la même couleur que la négative, il faut examiner l'intérieur de l'élément.

S'il arrive, pendant la charge, un renversement de courant de la dynamo, de telle sorte que le courant partant du pôle + de la machine aille au pôle — de l'accumula-

Digitized by Google

teur, on décharge celui-ci lentement sur une résistance qu'on diminue à mesure que la force électromotrice baisse. Quand l'accumulateur n'a plus de force électromotrice, on le relie à la machine dans le sens normal, et on le charge en intercalant une résistance dans le circuit.

Lorsque des plaques doivent rester au repos pendant quelque temps, il faut avoir soin de les charger complètement.

M. Roux a fait à ce sujet des expériences avec 2 accumulateurs Julien de 200 amp.-h. Le liquide était recouvert d'une couche de paraffine; les vases étaient en verre et supportés par des isolateurs à huile; l'accumulateur se trouvait donc parfaitement isolé. Le liquide, qui contenait 4 p. 100 de sulfate de soude, présentait une densité de 1,2 quand l'accumulateur était chargé à saturation.

Les 2 éléments essayés ont été chargés le 5, puis déchargés le 6 août, jusqu'à ce que la tension fût descendue à 1,8 volt; ils ont fourni à la décharge 233 amp.-h.

Le 7 août, on a fait la charge à nouveau dans les mêmes conditions que le 5; puis l'accumulateur est resté tranquille jusqu'au 20 octobre. A cette date, on l'a déchargé, dans les mêmes conditions que le 6 août, et on a trouvé 220 amp.-h.

Comme on peut admettre que les éléments ont pris le 5 et le 7 août la même quantité d'électricité, ils n'ont donc perdu que 13 amp.-h., soit 6 p. 100 durant les 2 mois 1/2 pendant lesquels ils ont été laissés en repos. On peut conclure de ces expériences que les éléments bien isolés peuvent se conserver sans être utilisés quand ils ont été préalablement chargés à saturation.

§ 109. **Rendement.** — Le rendement d'un élément est le rapport entre l'énergie qu'il peut fournir et celle qui a été dépensée pour le charger. Le rendement utile se déter-

Digitized by Google

mine ordinairement par le nombre d'ampères-heure produits dans la décharge avant que la force électromotrice s'abaisse de 10 p. 100. L'expérience a prouvé que ce chiffre est très variable; il dépend beaucoup de la densité du courant de décharge, c'est-à-dire du nombre d'ampères débité par centimètre carré. Dans la pratique, on ne dépasse généralement pas 1 ampère par décimètre carré.

La rapidité de la décharge a une grande influence sur le rendement. En opérant très lentement, on augmente beaucoup ce chiffre. La force électromotrice s'abaisse vite quand la densité du courant est trop forte; et le travail disponible diminue à mesure qu'on demande par unité de temps un travail plus considérable.

En opérant par faibles courants pour la charge et la décharge, on a encore l'avantage d'assurer à l'élément une plus grande durée. En forçant le courant, on détruit les plaques. On peut citer, comme preuve à l'appui, les accumulateurs employés pour la télégraphie qui ne sont pas surmenés et qui ne se désagrègent pas.

On admet, en général, que le débit des accumulateurs au plomb ne doit pas dépasser 1 amp. par kilogramme de plaques dans une installation d'éclairage. Dans la traction des tramways, ces chiffres sont beaucoup dépassés et certains modèles fournissent 1,5 et même 2 amp.

Il est difficile de donner sur le rendement des chiffres bien précis. On admet généralement qu'un accumulateur rend seulement 60 à 65 0/0 du travail qu'on lui a fourni.

Supposons qu'on emploie un travail de 100 chev. pour charger des accumulateurs. Admettons un rendement de 85 0/0 pour la machine à vapeur et la transmission, et 85 0/0 pour la dynamo et les conducteurs. On ne fournira, en réalité, que 72 chev. aux accumulateurs. En comptant sur un rendement de 0,60, ceux-ci ne restitueront que $72 \times 0{,}60 = 43$ chev.

Digitized by Google

Ce chiffre montre que l'emploi des accumulateurs n'est pas économique.

§ **110. Récipients.** — Les récipients destinés aux accumulateurs doivent avant tout être parfaitement étanches; car une fuite de liquide peut mettre l'accumulateur en contact avec la terre. On emploie le grès, le verre, le bois doublé de plomb, l'ébonite.

Le grès a l'inconvénient de donner des suintements. Le verre est parfaitement étanche, et il permet de surveiller facilement l'intérieur des appareils; mais sa fragilité est un obstacle quand les dimensions dépassent certaines limites. Le bois doublé de plomb ou d'ébonite est assez employé; mais ces récipients sont d'un prix élevé. Le bois simplement enduit de résine ou de goudron donne de mauvais résultats, parce que ces matières sont attaquées par l'acide sulfurique.

Pour empêcher les sels grimpants, les bords des récipients sont enduits à l'intérieur et à l'extérieur d'une couche de paraffine ayant quelques centimètres de hauteur.

Les réactions chimiques déterminent des bulles de gaz, qui en crevant projettent du liquide sur les conducteurs. Pour éviter cet inconvénient, on peut étendre à chaud sur le liquide une couche de paraffine qui se solidifie et ferme le récipient. On ménage un trou pour le dégagement des gaz, et on enlève un peu de liquide afin de ménager un espace libre.

Il est important de vérifier souvent l'isolement des récipients entre eux et avec les supports sur lesquels ils sont placés, à cause des cristallisations salines qui peuvent se former et établir des courts-circuits ou des contacts à la terre.

§ **111. Calculs sur les accumulateurs.** — Les accumulateurs étant susceptibles d'être groupés en tension et en

Digitized by Google

quantité, comme les piles, donnent lieu aux mêmes problèmes.

La résistance intérieure des accumulateurs varie suivant les types ; elle est du reste toujours très petite. La formule suivante permet dans les cas ordinaires de calculer approximativement cette résistance r en ohms, en fonction du poids total P exprimé en kg.

$$r = \frac{0{,}08}{P}.$$

Calcul du nombre d'éléments. — Exemple. — Combien doit-on prendre d'accumulateurs pour alimenter 25 lampes à incandescence, exigeant 65 volts et 0,98 amp., et placées toutes en dérivation ?

La force électromotrice nécessaire pour les lampes est 65 v. ; en ajoutant 10 p. 100 pour la résistance des conducteurs, on doit fournir 71 v. L'intensité est $0{,}98 \times 25 = 24{,}5$ amp. Supposons qu'on choisisse l'accumulateur Philippart, § 99.

Le n° 1 fournit 25 amp., il suffit donc d'un élément en quantité. Chacun d'eux donne une force électromotrice moyenne de 2 volts ; il faudra donc en associer 36 en série. Pour parer à la baisse de force électromotrice qui se produit, comme nous avons vu, on prendra 4 éléments de renfort, que l'on ajoutera successivement suivant les besoins, soit en tout 40 éléments.

La capacité de l'accumulateur est de 150 amp.-h. L'éclairage pourra donc durer 6 heures. (Ce chiffre est un maximum qu'on n'atteint jamais en pratique.)

Quelle est la dépense de travail ?

La puissance absorbée par les lampes est :

$$\frac{71 \times 24{,}5}{9{,}8} = 174 \text{ kgm. par seconde ;}$$

Soit $174 \times 6 \times 3\ 600 = 3\ 758\ 400$ kgm. pour 6 heures.

Digitized by Google

Le rendement des accumulateurs étant 60 p. 100, on devra dépenser pour la charge :

$$\frac{3\ 758\ 400}{0,6} = 6\ 260\ 000 \text{ kgm.}$$

$$\frac{6\ 260\ 000}{270\ 000} = 23,2 \text{ chev.-h.}$$

Si la dynamo et les transmissions absorbent environ 10 p. 100 du travail, le moteur devra fournir 25,5 chev.-h.

Capacité. — Il est important, surtout pour les questions de traction et de navigation, de savoir la quantité d'énergie emmagasinée dans un accumulateur par kg. de plaques et par kg. de poids total. Pour ce calcul on se sert de la formule :

$$T = \frac{E\ I}{9,8}.$$

Prenons pour exemple l'accumulateur E. P. S. (type S). On peut compter 2 volts pour la force électromotrice moyenne pendant la décharge. La capacité est de 12 amp.-h. par kg. de plaques et de 8 par kg. de poids total.

$$T = \frac{12 \times 2 \times 3\ 600}{9,8} = 8\ 815 \text{ kgm. par kg. de plaques.}$$

$$T = \frac{8 \times 2 \times 3\ 600}{9,8} = 5\ 877 \text{ kgm. par kg. de poids total.}$$

Donc, pour emmagasiner 1 cheval-heure, il faut :

$$\frac{75 \times 3\ 600}{8\ 815} = 30 \text{ kg. de plaques,}$$

et

$$\frac{75 \times 3\ 600}{5\ 877} = 46 \text{ kg. de poids total.}$$

Puissance. — Supposons un modèle d'accumulateur donnant un débit de 2 amp. par kg. de plaques; sa puissance sera $\frac{2 \times 2}{9,8} = 0,4$ kgm. par kg. de plaques.

Digitized by Google

Pour fournir 1 cheval par seconde, il faudra donc $\frac{75}{0,4}$ soit 187 kg. de plaques. Cette question est importante dans la traction et la navigation électriques, où l'on a par moments des coups de collier à donner; on doit savoir quel travail maximum on peut demander aux accumulateurs pour un poids déterminé. Pour l'éclairage électrique l'intérêt est moindre; il importe peu, dans ce cas, d'avoir quelques éléments de plus à son service.

§ **112. Applications des accumulateurs.** — Le faible rendement des accumulateurs et leur prix élevé limitent beaucoup les applications industrielles de ces appareils. On s'en sert surtout dans les cas suivants :

1° Comme réserve disponible, pour parer à l'insuffisance ou à l'arrêt des dynamos. C'est le cas des théâtres. Il importe d'avoir toujours une provision d'électricité, et le rôle des accumulateurs est naturellement indiqué dans cette circonstance.

2° Quand on a par moments dans une usine un excès de travail moteur disponible. Ce travail est employé à charger d'avance des accumulateurs qu'on utilise ensuite aux moments voulus pour l'éclairage;

Dans les stations centrales, ils constituent une réserve prête à suppléer à une insuffisance de production ou à parer à un accident. En outre, les dynamos de ces stations sont calculées pour un certain débit; la consommation varie suivant les heures et d'une façon imprévue. On peut donc utiliser un excès de courant pour charger des batteries.

3° Pour l'éclairage des wagons on emploie des accumulateurs qu'on charge, soit avant le départ par une dynamo placée dans la gare, soit pendant le trajet par une dynamo disposée dans un fourgon du train.

Dans le même ordre d'idées, les accumulateurs sont très

Digitized by Google

commodes pour un éclairage momentané, comme celui d'une salle de réunion. On y transporte pour le moment voulu les éléments tout chargés avec le matériel d'éclairage. Certaines entreprises d'éclairage sont basées sur ce procédé.

4° On a fait beaucoup d'essais pour la propulsion des tramways et des bateaux au moyen d'accumulateurs. Les éléments sont embarqués avec leur charge d'électricité, qui est fournie par une usine installée dans ce but.

Pour les bateaux, le poids des accumulateurs est un grand obstacle à leur emploi ; mais l'absence de chaleur et de fumée peut avoir parfois un grand avantage ; c'est le cas de certains torpilleurs et bateaux sous-marins.

5° Les accumulateurs peuvent remplacer avantageusement les piles pour la télégraphie et pour la production des signaux. La télégraphie exige des courants de très faible intensité comparativement à ceux que demande l'éclairage ; on y emploie des courants ayant au plus 0,05 amp. Au bureau des postes de Londres, il existe, depuis 1884, 220 circuits télégraphiques alimentés par 38 éléments seulement.

6° Les accumulateurs peuvent être employés pour toutes les opérations d'électrolyse et de galvanoplastie.

Nous reviendrons plus tard sur ce sujet, en étudiant les installations de lumière électrique, de transport d'énergie et de galvanoplastie.

Digitized by Google

CHAPITRE II

TRANSFORMATEURS SECONDAIRES

§ **113. Principe du transformateur.** — Nous verrons, en parlant des stations centrales et du transport de l'énergie, quel intérêt il y a à employer des courants à une tension très élevée. On diminue ainsi d'une façon considérable la section des conducteurs et on réalise une importante économie sur le cuivre. Mais avec les dynamos à courant continu, qui nécessitent l'emploi d'un collecteur, on ne peut guère dépasser 3 000 volts. On s'est donc trouvé amené à utiliser pour les transports d'énergie à grande distance des machines à courants alternatifs, qui fonctionnent sans collecteur et permettent d'obtenir sans difficulté 10 000 volts. Des courants de cette nature sont dangereux, surtout pour des distributions particulières. Pour supprimer cet inconvénient, on a imaginé les *transformateurs secondaires*. Ces appareils, placés chez les abonnés, reçoivent de l'usine électrique les courants à haute tension, et les transforment en courants de grande intensité et de faible tension, dont l'emploi ne présente aucun danger.

Supposons, par exemple, qu'on veuille alimenter en dérivation 80 lampes à incandescence de 0,50 ampère et 100 volts. La puissance dépensée est représentée par $0{,}50 \times 100 \times 80 = 4\ 000$ watts. Si on leur envoie directement le courant, il faut 40 ampères. En admettant qu'il

Digitized by Google

passe 2 ampères par millimètre carré, le conducteur aura 20^{mm2}.

Au lieu d'opérer ainsi, envoyons dans le conducteur principal un courant de 2 000 v. et 2 amp.; mais, avant de le distribuer, faisons-le passer dans un appareil qui le transforme en 100 v. et 40 amp. La puissance absorbée sera toujours égale à 4 000 w.; mais le conducteur principal n'aura plus que 1^{mm2} de section. Tel est le but des transformateurs. Cet exemple montre quel avantage ils présentent quand il s'agit de transporter le courant à grande distance. Dans certains cas, on est même amené à faire subir aux courants deux transformations. Si l'on veut employer des tensions très élevées, par exemple 10 000 v., comme de pareils courants présentent quelques dangers dans l'usine génératrice, on commence par produire des courants à une tension modérée, soit 1 000 v., et un premier transformateur installé à l'usine même élève la tension à 10 000 v. Ces courants sont transmis par la ligne; et à l'arrivée un second transformateur abaisse la tension à un degré permettant de faire la distribution sans danger.

Les transformateurs sont basés sur l'induction et nécessitent l'emploi de courants alternatifs; leur théorie est analogue à celle de la bobine de Ruhmkorff, dont nous allons rappeler le principe en quelques mots.

Bobine de Ruhmkorff. — Autour d'un noyau de fer doux on enroule deux bobines; l'une dite *primaire* est formée d'un gros fil de cuivre; la deuxième appelée *secondaire* est constituée par un fil fin faisant un grand nombre de tours. Si dans le fil primaire on envoie une série de courants alternatifs à grande intensité, on développe dans le fil secondaire une succession de courants de faible intensité, mais dont la tension peut être très considérable. On peut produire le phénomène inverse; en envoyant dans le fil fin des cou-

Digitized by Google

rants de forte tension, on détermine dans le gros fil des courants de grande intensité.

§ **114. Transformateur Gaulard et Gibbs.** — C'est sur ce principe qu'est basé le *transformateur*, dont la première application a été faite par MM. Gaulard et Gibbs. L'appareil est formé de 2 circuits isolés enroulés l'un autour de l'autre; le circuit primaire est parcouru par des courants *alternatifs* envoyés de l'usine; ces courants induisent dans le circuit secondaire, sur lequel sont placées les lampes, d'autres courants *alternatifs*; l'intensité et la tension de ces derniers dépendent, pour un courant primaire d'énergie déterminée, des dimensions relatives des 2 circuits de la bobine, et peuvent, par suite, prendre les valeurs que l'on désire. Les 2 circuits entourent un noyau en fer doux qui, passant par des phases successives d'aimantation, a pour effet d'augmenter les actions d'induction.

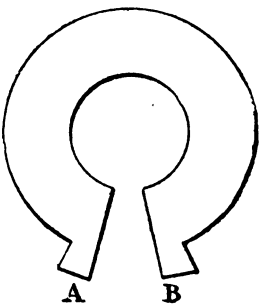


Fig. 95.

Le transformateur Gaulard et Gibbs renferme 2 hélices, composées de disques de cuivre superposés et isolés entre eux, de manière que les éléments d'une des hélices se trouvent intercalés entre les éléments de l'autre. Ces disques, d'une épaisseur de 0^{mm}, 25, ont la forme d'une couronne circulaire coupée radialement (fig. 95), et sont munis, sur les bords de cette coupure, de deux languettes A, B qui servent aux soudures; ils sont isolés par des disques de papier parcheminé et un vernis qui couvre leurs surfaces. Les uns constituent le circuit primaire; les autres forment le circuit secondaire. Les jonctions de disque à disque se font au moyen des languettes A, B, la languette

Digitized by Google

B du premier disque du circuit primaire, par exemple, étant soudée à A du second, puis B du second à A du troisième, et ainsi de suite. On a donc en réalité une spirale en ruban de cuivre ayant autant de spires qu'il y a de disques.

Dans ces conditions, le passage des courants alternatifs dans la série des disques primaires engendre dans l'autre

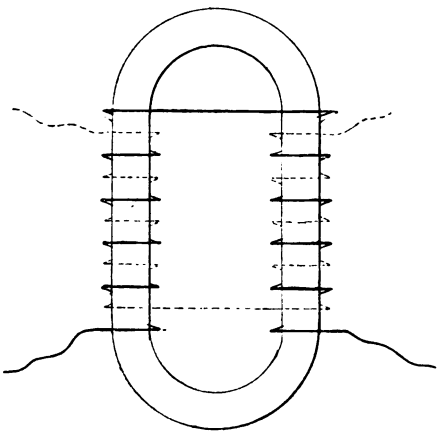


Fig. 96.

série des courants induits, qui sont d'ailleurs renforcés par un faisceau de fils de fer doux placé dans l'axe de la bobine. Les courants induits sont recueillis en tension ou en quantité, les divers éléments de la spire secondaire étant divisés en plusieurs sections qu'on peut relier à volonté en tension ou en quantité.

Dans les premiers modèles, le noyau de fer était mobile et pouvait pénétrer plus ou moins dans l'intérieur des bobines, de façon à modifier les effets d'induction. Dans les appareils actuels, le noyau est fixe et fermé sur lui-même,

Digitized by Google

c'est-à-dire qu'il est constitué par 2 tiges verticales réunies en haut et en bas par 2 demi-anneaux. Chaque portion verticale comporte une bobine (fig. 96).

§ **115. Transformateur Zipernowsky, Dhéri et Blathy.** — Cet appareil offre quelque ressemblance avec l'anneau Gramme. Il comporte (fig. 97) un noyau en fer, autour duquel sont enroulées 2 hélices en fil de cuivre isolé

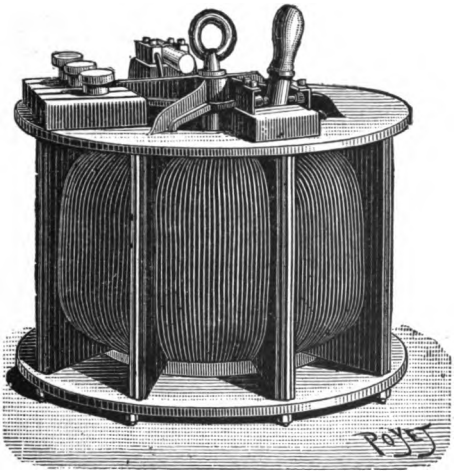


Fig. 97.

constituant le circuit primaire et le circuit secondaire. Pour former le noyau, on enroule en spirale un ruban en fer plat d'un centimètre de largeur dont les spires sont isolées.

On constitue de cette façon un tore plat à section rectangulaire qu'on appelle *galette*. On superpose une série d'assises semblables isolées entre elles, et on forme ainsi le noyau. Le tout est assemblé par des montants en bois vernis qui constituent le support. Les montants divisent

Digitized by Google

le noyau en 8 segments, sur lesquels on enroule les fils primaire et secondaire. L'hélice secondaire recouvre l'hélice primaire. L'appareil est complété par 2 plateaux en fer, l'un placé à la partie supérieure, l'autre à la partie inférieure, sur lesquels sont boulonnés les montants. Au plateau supérieur sont adaptées des plaques en porcelaine, sur lesquelles sont fixées les bornes servant à assembler les extrémités des fils.

Les inventeurs ont construit un autre type dans lequel le noyau central est fait avec des fils de cuivre isolés formant deux ou plusieurs hélices. Ces fils sont enroulés en cercle et entourés d'une matière isolante. Sur l'anneau ainsi constitué on bobine des fils de fer fin isolés. Les fils de fer sont vernis et garnis de coton. Ils servent à constituer un champ magnétique, et en même temps ils forment une enveloppe protectrice aux fils de cuivre, dont les extrémités sortent par une fente ménagée à travers cette enveloppe. Voici quelques données relatives à cet appareil :

TRANSFORMATEUR DE 7 200 WATS UTILES

Résistance du circuit inducteur	1,15 ohm
» induit	0,0045 »
Intensité du courant à pleine charge	8,25 ampères
» avec l'induit à circuit ouvert	0,32 »
Force électromotrice inductrice	900 volts
Poids de cuivre	33,5 kg.
» fer	82 kg.
Fréquence (périodes par secondes)	50

§ **116. Rendement.** — Le transformateur ne rend pas toute l'énergie qu'il a reçue, et la modification subie par le courant entraîne nécessairement une certaine perte due à la production de chaleur dans le circuit et aux courants qui prennent naissance dans le noyau. D'après des expé-

Digitized by Google

riences exécutées à Turin par le professeur Ferraris, le rendement atteint 92 p. 100. Dans la pratique, on peut compter environ 85 p. 100.

Voici comment on peut calculer le rendement total d'une installation : Supposons qu'il s'agisse de transporter de l'énergie à distance, et que le courant subisse 2 transformations.

Admettons que chaque transformateur travaillant à pleine charge rende 92 0/0. Supposons que la dynamo génératrice rende 85 0/0 et la réceptrice 80 0/0, et que la ligne rende 90 0/0 ; le rendement définitif est :

$$0,85 \times 0,92 \times 0,90 \times 0,92 \times 0,80 = 0,52.$$

Si le courant ne subit qu'une transformation, le rendement est :

$$0,85 \times 0,92 \times 0,90 \times 0,80 = 0,56.$$

Enfin si, au point d'arrivée, le courant, au lieu d'être utilisé comme force motrice, est employé à l'éclairage, le rendement est :

$$0,85 \times 0,92 \times 0,90 = 0,70.$$

Indépendamment de cette perte, il en existe une seconde due aux motifs suivants : Un transformateur doit toujours être calculé d'après le nombre complet de lampes rattachées à son conducteur secondaire, et même pour une petite réserve. Il en résulte que, quand le nombre de lampes décroît, le transformateur fonctionne dans des conditions défavorables ; le rendement se trouve beaucoup réduit quand on diminue le travail qu'il doit produire et qu'on le fait descendre au-dessous de la limite pour laquelle il a été calculé. Des expériences faites dans l'installation de la *Grosvenor Gallery* montrent que, pendant les heures du minimum de consommation, le courant fourni par l'usine est bien plus considérable que celui qui corres-

Digitized by Google

pond au nombre de lampes. Les pertes accusées atteignent 20 p. 100.

On pourrait, pour éviter ces pertes, installer plusieurs transformateurs de petite dimension au lieu d'un grand. L'un serait toujours en circuit, et les autres n'y seraient mis que suivant les besoins; mais c'est une complication et un accroissement de dépenses. En outre, les petits trans-

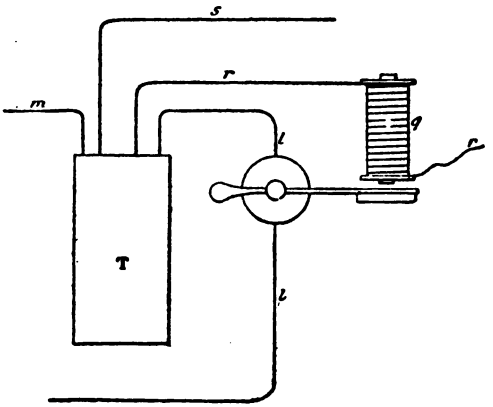


Fig. 98.

formateurs associés donneraient moins de rendement qu'un grand.

On pourrait encore réunir ensemble les conducteurs de plusieurs transformateurs. Cette disposition aurait en outre l'avantage que, si un transformateur cessait de fonctionner, les autres y suppléeraient. Mais il y aurait encore là une augmentation de dépenses pour l'installation.

§ **117. Commutateur Swinburn.** — Pour diminuer autant que possible la perte dont nous venons de parler dans les distributions domestiques sujettes à de très grandes variations, M. Swinburn emploie un commutateur automatique

Digitized by Google

qui coupe le circuit quand le débit descend au-dessous d'une certaine limite.

T étant le transformateur (fig. 98), le circuit primaire est représenté par les deux fils *m* et *l*; le circuit secondaire est figuré en *s*, *r*. Le fil secondaire *r* traverse un électro-aimant *q*, dont l'armature est reliée à la manette d'un commutateur placé sur le circuit primaire. Quand l'intensité s'abaisse trop dans le circuit secondaire, l'électro-aimant ne peut plus retenir son armature qui, tombant par l'effet de son poids, coupe le circuit primaire, jusqu'à ce qu'on vienne le rétablir en relevant l'armature à la main et en augmentant le débit du transformateur.

§ **118. Précautions à prendre avec les transformateurs.** — Pour empêcher tout accident, il est important de bien choisir l'emplacement des transformateurs. Quelquefois on les dispose en certains points centraux d'une ville, où l'on fait aboutir les fils des différents réseaux voisins. Dans d'autres cas, on met un transformateur dans chaque maison d'abonné. Tout dépend des circonstances locales. Quel que soit le mode adopté, l'appareil doit être bien protégé, et il est prudent de l'enfermer dans une boîte spéciale. Des coupe-circuits sont installés sur chaque conducteur primaire alimentant le transformateur; il en est de même pour les conducteurs secondaires. Un commutateur est disposé sur le circuit primaire.

Dans un transformateur, il peut se produire des fuites dues à un défaut d'isolement. Une fuite de cette nature, même très faible, existant entre les bobines primaire et secondaire, il peut arriver qu'un courant à haute tension s'introduise dans le circuit secondaire et donne lieu à des accidents, dans le cas, par exemple, où une personne toucherait un fil d'une main et de l'autre une pièce métallique comme un tuyau de gaz.

Digitized by Google

Pour parer à cet inconvénient, M. Kant place entre les bobines primaire et secondaire du transformateur un écran métallique relié à la terre. Si une fuite se produit, le courant, avant d'arriver à la bobine secondaire, doit traverser la feuille métallique. Le plomb de sûreté du circuit primaire fond, et le transformateur est mis hors circuit.

Un autre dispositif a été imaginé par M. Cardew. Son appareil contient 2 disques en laiton parallèles placés l'un au-dessous de l'autre à faible distance. Entre les 2 disques est interposée une feuille mince d'aluminium reposant en temps normal sur le disque inférieur qui se trouve relié à la terre. Le disque supérieur communique avec la bobine secondaire du transformateur par l'intermédiaire d'un fil fin fusible. Ce fil maintient la clef d'un interrupteur à ressort dont les bornes sont reliées à celles du circuit primaire. Quand la différence de potentiel entre la terre et le circuit secondaire atteint la limite fixée, la feuille d'aluminium, attirée par le disque supérieur, détermine le passage d'un courant qui fond le fil; la clef de l'interrupteur poussée par son ressort met en court-circuit les 2 bornes du circuit primaire, ce qui détermine la fusion des pièces de sûreté primaires du transformateur.

Dans les expériences de Francfort, dont nous parlerons plus tard, la matière isolante des transformateurs était du caoutchouc durci; cette matière donne un isolement parfait tant qu'elle reste compacte; mais il n'en est plus de même si des fentes s'y produisent. Pour se mettre à l'abri de tout accident, les transformateurs étaient plongés dans un bain d'huile; ce liquide, s'introduisant dans les fentes, assurait l'isolement. Avec des appareils montés de cette façon, la tension a été poussée jusqu'à 30 000 volts.

Digitized by Google

QUATRIÈME PARTIE

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

CHAPITRE PREMIER

ÉTUDE DES FOYERS LUMINEUX

Les foyers lumineux électriques se divisent en trois catégories :

1° Lampes à arc ou régulateurs ;
2° Bougies ;
3° Lampes à incandescence.

LAMPES A ARC OU RÉGULATEURS

§ **119. Considérations théoriques.** — Dans les lampes à arc on produit la lumière en faisant passer un courant électrique intense entre deux pointes de charbon, que l'on maintient écartées l'une de l'autre. On voit apparaître entre elles un *arc* lumineux très brillant qui provient sans doute de la grande résistance que l'air oppose au courant. Pour que l'arc prenne naissance, il faut que les deux pointes soient d'abord mises en contact, afin de déterminer la

Digitized by Google

fermeture du circuit ; puis on les éloigne peu à peu jusqu'à une distance déterminée, qui dépend de la tension du courant, et qui doit être maintenue toujours égale pour le même appareil.

Le charbon *positif*, c'est-à-dire celui qui est relié au pôle positif de la source électrique, s'use 2 fois plus vite que l'autre, et il se creuse en forme de cratère. Le charbon *négatif* reste pointu. Avec des courants alternatifs, les 2 charbons s'usent également et demeurent pointus tous les deux.

La quantité de lumière est en raison du diamètre du charbon et de l'intensité du courant. C'est dans le cratère du charbon positif que se produit la plus grande émission de lumière. Aussi place-t-on ce charbon toujours au-dessus de l'autre, quand on veut que la lumière soit projetée vers le bas.

L'arc étant engendré comme on vient de le voir, il faut, pour le maintenir constant, que les pointes de charbon conservent entre elles la même distance pendant toute la durée de l'éclairage, et pour cela, on doit compenser à chaque instant leur usure. C'est le but des *régulateurs*.

Le programme est de donner d'abord naissance à l'arc et de maintenir constant l'écartement des charbons ; ces opérations doivent se faire automatiquement. Les différents systèmes de régulateurs reposent tous sur l'emploi d'un électro-aimant traversé, soit par le courant total, soit par une dérivation, et imprimant aux charbons un certain mouvement, par suite des variations de l'intensité du courant ou de la résistance de l'arc.

§ **120. Charbons.** — Les charbons généralement adoptés sont fabriqués selon les procédés indiqués par M. Carré. On emploie un mélange de 50 parties de coke très pur en poudre, 20 parties de noir de fumée calciné, et 30 parties

Digitized by Google

d'un sirop gommeux. Cette pâte, bien triturée, est passée à la filière sous une pression de 100 atm. Puis les baguettes sont soumises dans des creusets à une haute température. On les imprègne ensuite d'un sirop concentré de sucre, et après un lavage et une dessication, on les cuit une seconde fois. On répète plusieurs séries d'opérations analogues.

On se sert quelquefois au pôle positif de crayons dits *à mèche*, dans lesquels un trou central, fait à la filière, est rempli d'un charbon plus conducteur de l'électricité que le crayon ordinaire. Cette disposition maintient le foyer lumineux au centre du charbon et donne à la lumière plus de fixité et de régularité. Le prix de ces charbons est un obstacle à leur emploi. Ils conviennent surtout pour les éclairages d'intérieur.

On fait aussi des charbons sur lesquels on dépose du cuivre ou du nickel par électrolyse. Ils sont plus durs et plus solides que les charbons ordinaires; mais la lumière est moins régulière au point de vue de la couleur et de la fixité. Ce système est adopté en Amérique pour les voies publiques.

Diamètres des charbons. — Le diamètre des charbons varie suivant l'intensité du courant. Voici les chiffres généralement adoptés :

2	millimètres	pour	2 à	3	ampères
4	—		3 à	5	—
5	—		4 à	6	—
7	—		7 à	10	—
9	—		10 à	11	—
10	—		11 à	15	—
11	—		12 à	16	—
12	—		13 à	20	—
13	—		15 à	24	—
14	—		16 à	25	—

Digitized by Google

15	millimètres	pour	25 à	30	ampères
17	—		30 à	45	—
18	—		35 à	60	—
20	—		40 à	80	—
25	—		50 à	120	—
30	—		80 à	180	—

Pour les arcs de grande dimension, on emploie, au lieu d'un charbon unique de fort diamètre, un faisceau de petits crayons, ou des charbons cannelés de James Douglass.

§ **121. Régulateur monophote.** — *Lampe Serrin.* — Dans le régulateur de Serrin on obtient la régulation de l'arc, c'est-à-dire qu'on maintient la distance normale des charbons, au moyen d'un électro-aimant traversé par le courant *total*. La figure 99 représente théoriquement le jeu de l'appareil.

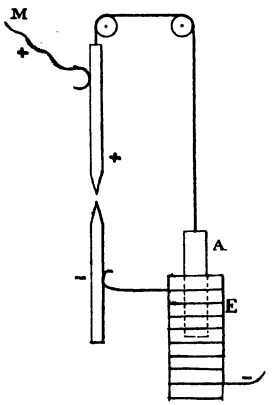


Fig. 99.

Les charbons positif et négatif étant amenés au contact par le poids du premier, le courant qui arrive de M passe par les 2 charbons, puis par l'électro-aimant E. L'armature A se trouve attirée. Par une série d'engrenages, ce mouvement de l'armature se transmet aux 2 charbons et produit leur éloignement. L'arc se forme ; mais la résistance éprouvée par le courant diminue peu à peu son intensité, et l'électro-aimant n'est bientôt plus assez fort pour équilibrer le poids de l'armature. Un mouvement inverse se produit, et les charbons se rapprochent. Leur distance se règle donc d'après les variations d'*intensité* du courant.

L'appareil décrit ci-dessus est *monophote*; il ne permet

Digitized by Google

de placer qu'un régulateur dans le même circuit. Si l'on en met deux, en effet, le courant agissant à la fois sur les 2 électro-aimants, influence les 2 lampes en même temps. Si, par exemple, la première est en équilibre et que l'arc soit trop grand dans la seconde, le mécanisme automatique rapprochera les charbons de celle-ci; l'intensité augmentera et deviendra trop grande pour la première. Ainsi les variations produites sur un régulateur réagiront sur l'autre, et on ne pourra régler simultanément les deux. Aussi ces appareils ne servent guère que pour les installations exigeant un seul foyer, comme les phares. Dans les régulateurs Serrin le mécanisme d'horlogerie commande à la fois les 2 charbons; il en résulte que le centre lumineux reste parfaitement fixe. C'est un grand avantage pour l'éclairage des phares.

§ **122. Régulateurs à dérivation.** — Pour un éclairage industriel, il faut généralement qu'on puisse alimenter plusieurs lampes avec le même courant, et que le jeu de chacune d'elles fonctionne sans influencer les autres. Dans ce but, on actionne l'électro-aimant du régulateur, non plus avec le *courant total*, mais avec une *dérivation*.

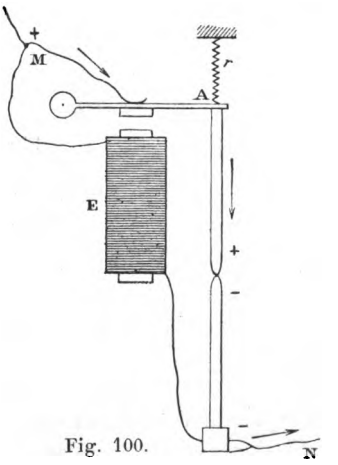


Fig. 100.

Une bobine à fil fin E (fig. 100) est alimentée par une dérivation du courant principal. Les charbons étant en contact, le courant passe de M à N en traversant les charbons. Quand leur distance augmente, la résistance

Digitized by Google

s'accroît et une partie du courant traverse l'électro-aimant. L'armature A est alors attirée et produit le rapprochement des charbons. Le réglage s'opère donc suivant les différences de *résistance de l'arc*.

§ **123. Régulateur différentiel.** — Le porte-charbon *a* (fig. 101) est fixé à l'extrémité d'un levier *cc'* mobile autour du point *d*, et dont l'autre bout est relié à un barreau de fer doux SS'. Ce barreau pénètre dans l'intérieur de 2

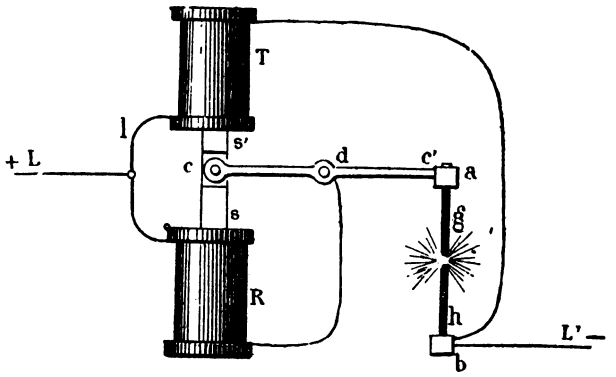


Fig. 101.

bobines, l'une T à fil fin et à grande résistance, l'autre R à gros fil et à résistance très faible. Le courant électrique arrivant en L se partage entre les 2 bobines : une partie passe par R et alimente l'arc, l'autre traverse T, et elles viennent se réunir en *b* pour se rendre par L' à la lampe suivante.

Chaque bobine attire le barreau de fer doux avec une force proportionnelle à l'intensité du courant qui la traverse.

Si donc la distance des charbons est trop grande, la résistance de l'arc s'accroissant en proportion, le courant augmentera dans la bobine T, dont l'action deviendra plus

Digitized by Google

forte; le barreau SS' sera déplacé vers le haut, et le mouvement du levier produira le rapprochement des crayons. Quand au contraire la résistance de l'arc diminue, c'est la bobine R qui devient prépondérante, et le mouvement inverse se produit.

Si donc la résistance de l'arc est convenablement réglée, et le rapport des résistances des 2 bobines bien établi; l'équilibre du système est indépendant des variations d'intensité du courant total; il ne dépend plus que du rapport des 2 courants dérivés, c'est-à-dire du rapport des résistances des bobines et de l'arc. Ce n'est plus l'*intensité* du courant total qui règle la lampe, comme dans les régulateurs monophotes, c'est la *résistance de l'arc*. On peut donc dans le même circuit placer plusieurs foyers de cette espèce. La résistance de l'un n'influe pas sur les autres; les lampes sont toutes indépendantes. On peut en éteindre quelques-unes dans un circuit sans influencer celles qui restent. La même observation s'applique aux régulateurs à dérivation.

Au repos, les 2 charbons se touchent. Quand le courant vient à passer, il traverse l'électro R, et attire le barreau de fer; le charbon supérieur s'éloigne, et l'arc prend naissance.

Dans ces appareils le point lumineux n'est pas fixe, puisque le charbon supérieur seul est mobile. Ce serait là un inconvénient pour un phare; mais dans un éclairage industriel ce fait n'a aucune importance.

§ **124. Régulateur Siemens.** — Le régulateur Siemens est différentiel; son intensité lumineuse dépend du courant qui le traverse. On peut prendre comme moyenne 35 à 40 carcels; chaque lampe exige, dans ce cas, 3/4 de cheval-vapeur environ, et consomme par heure 9 centimètres de crayon; sa durée moyenne est de 4 heures 1/2.

Comme nous l'avons vu, on peut disposer ces régulateurs

Digitized by Google

en tension. En général, on les groupe en plusieurs séries qu'on réunit en quantité.

§ **125. Régulateur Bardon.** — Cette lampe est différentielle et munie d'un frein de réglage. Elle comporte (fig. 102) une bobine formée de 2 enroulements, l'un à droite, l'autre à gauche, et dont les actions magnétisantes sur les noyaux de fer ne sont pas concordantes. Dans l'âme de la bobine sont 2 noyaux, l'un N fixe, occupe $\frac{1}{3}$ de la hauteur, l'autre N′ est mobile suivant l'axe. Celui-ci se prolonge par une tige en cuivre coulissant dans l'axe de N et appuyant sur un levier *m n* articulé en *o*. En *m* et *n* s'attachent les bouts d'un cordon de soie. Celui-ci passe sur une poulie *p* qui soutient le charbon supérieur, puis sur 3 poulies, dont l'une placée au centre est solidaire du volant V; enfin le cordon passe sur la poulie *p′* qui supporte le charbon inférieur, et elle vient s'attacher au levier en *n*.

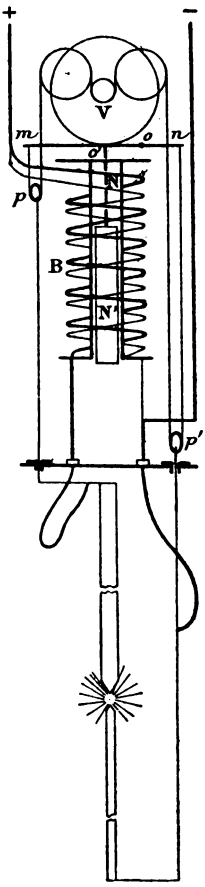


Fig. 102.

Le poids du porte-charbon supérieur amène les crayons au contact. Au moment de la fermeture du circuit, l'action de l'enroulement en gros fil est prédominante. Le noyau mobile N′ est attiré vers N, sa tige presse le levier *mn*, l'extrémité *m* monte, et *n* descend, mais dans une certaine limite, car le levier forme frein sur la roue V. L'écartement

Digitized by Google

en sens inverse des charbons donne naissance à l'arc. Voici maintenant comment se fait le réglage. Quand l'usure des crayons augmente leur distance, l'enroulement en fil fin devient prédominant, N′ est attiré vers le bas, le levier *m n* baisse du côté *m*, et libère le volant qui laisse dévider le cordon ; l'arc se trouve ramené sans choc à sa grandeur normale. Les charbons avancent de la même quantité, et le positif a une section double du négatif.

Supposons 2 lampes A et B en série dans le même circuit ; on ne peut admettre qu'elles sont mathématiquement identiques ; la plus sensible A règlera la première, les charbons se rapprocheront de plus en plus, tandis que dans B l'usure des charbons augmentera leur écartement. Dans celle-ci l'enroulement en fil fin devient prépondérant, le freinage du volant diminue, et le cordon se déroule de manière à amener les crayons à leur distance normale. Dans A, au contraire, le gros fil exerce son action sur le noyau, qui vient caler fortement le volant, empêche le rapprochement des charbons et prévient leur *collage*.

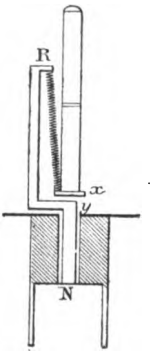


Fig. 103.

Pour empêcher cet effet dont les conséquences sont toujours dangereuses, le noyau mobile N ne commande plus directement le levier *m n*, mais il l'actionne par l'intermédiaire d'un ressort à boudin (fig. 103). Admettons que dans une lampe les charbons viennent à coller, pour une raison quelconque ; l'arc de la seconde lampe associée en série s'accroît, puis elle se met aussitôt à régler, augmentant ainsi l'intensité dans le circuit ; alors le noyau mobile de la première s'élève et tend subitement le ressort, pour produire un second allumage dont l'écartement maximum est *x y*. Grâce à cette combinaison, le collage ne dure que le

Digitized by Google

temps nécessaire au fonctionnement de l'appareil, c'est-à-dire quelques secondes.

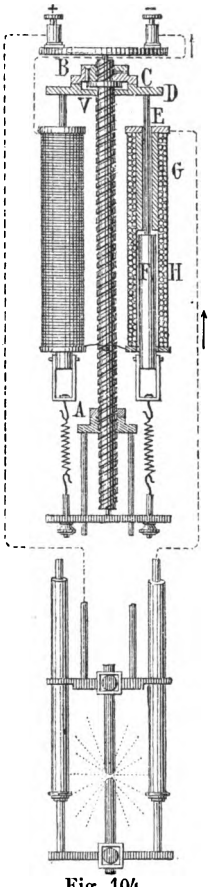


Fig. 104.

§ **126. Régulateur Cance.** — Cet appareil permet d'obtenir la division de la lumière avec des foyers placés en dérivation sur les bornes de la machine. L'installation comprend alors autant de circuits dérivés que de foyers, ce qui exige une plus grande quantité de conducteurs que pour le système en série; mais la machine a besoin de moins de force électromotrice, ce qui est parfois avantageux, quand on veut, par exemple, alimenter avec la même dynamo des régulateurs et des lampes à incandescence.

Le régulateur Cance (fig. 104) comporte une vis verticale V tournant sur deux pivots, et sur laquelle peut courir un écrou A, nommé *écrou moteur*, qui supporte le charbon au moyen de 2 tringles. Cet écrou tend à descendre par son poids, et comme les tringles l'empêchent de tourner, il fait tourner la vis de gauche à droite. Au sommet de la vis est un second écrou B, nommé *écrou régulateur*, reposant sur un plateau C calé sur la vis, et limitant ainsi la descente de B. La vis V, en tournant de gauche à droite sous l'action de la pesanteur, entraîne l'écrou régulateur dans sa rotation.

Un plateau annulaire D, au moyen de 2 bras, est relié à 2 tiges de cuivre E. Chaque tige passe au travers d'un

Digitized by Google

cylindre de fer doux G fixé dans un solénoïde H. Les tiges E portent des noyaux de fer doux F mobiles dans les solénoïdes et réglés par un ressort.

Au repos, les charbons sont en contact; mais, quand le courant vient à passer, il traverse les solénoïdes, dont les noyaux s'élèvent, entraînant avec eux le plateau D. La surface de celui-ci vient se coller sur l'écrou régulateur. Ce dernier, ne pouvant plus tourner lui-même puisqu'il devient solidaire de D, imprime à la vis une rotation de droite à gauche. L'écrou moteur monte, les charbons s'écartent et la lampe s'allume.

Mais l'écart des charbons augmentant par l'usure, le courant éprouve plus de résistance; l'intensité diminue dans les solénoïdes, et les noyaux mobiles descendent sous l'action de leur poids et des ressorts. Le disque D et l'écrou régulateur suivent le même mouvement de descente, et il arrive un moment où l'adhérence de D et de l'écrou B n'est plus assez forte pour contre-balancer l'action de la pesanteur déterminée par l'écrou moteur A, qui en descendant rapproche les charbons.

Le réglage s'opère par les variations d'adhérence entre le plateau D et l'écrou régulateur, qui constituent un frein dont la force suit les différentes phases de l'arc électrique. L'intensité lumineuse du foyer est réglée par le frottement de D sur l'écrou, qui dépend lui-même de l'attraction exercée par les solénoïdes sur leurs noyaux.

La disposition en dérivation a pour effet de produire le réglage réciproque des foyers. Supposons, en effet, 2 lampes A, B en dérivation sur les pôles de la machine, et admettons que, A fonctionnant, on allume B. Le courant total augmente d'intensité par suite de la diminution de résistance et se divise en deux parties. Comme les charbons de B se touchent, le courant y est plus fort qu'en A. Aussitôt B est mise en action par ses solénoïdes, tandis

Digitized by Google

qu'en A les charbons se rapprochent à cause de la diminution du courant passant par cette lampe. Si ensuite l'écart des charbons devient plus grand dans une lampe que dans l'autre, le courant augmente dans cette dernière et diminue dans la première dont les charbons sont forcés de se rapprocher. Les lampes se règlent donc l'une par l'autre.

Enfin, comme, dans une installation d'éclairage électrique, les lampes ne se trouvent pas toutes placées à la même distance de la machine, et que les différents circuits n'ont pas la même résistance, condition nécessaire au bon fonctionnement des foyers, M. Cance intercale sur chaque circuit un rhéostat dont il fait varier la valeur suivant les besoins.

Ce rhéostat se compose d'un fil de maillechort enroulé sur un cylindre isolant, de manière à former une hélice à pas régulier. Le courant arrive à l'une des extrémités de ce fil, et le parcourt jusqu'à un curseur qui fait contact avec le fil et par lequel il sort du rhéostat. En déplaçant ce curseur suivant une génératrice du cylindre, on peut modifier à volonté la longueur du fil traversé par le courant; on fait ainsi varier la résistance intercalée sur le circuit, et l'on arrive à donner la même résistance aux différentes dérivations.

Le type principal sur lequel sont construites les lampes Cance donne de 40 à 45 carcels; ses constantes sont : 7 amp., 50 v. aux bornes de chaque lampe; et 65 à 70 v. aux bornes du tableau de distribution.

Il existe un autre modèle, utile dans les applications industrielles, donnant de 20 à 25 carcels avec 4 amp. et 45 v.

Enfin, lorsque les circonstances exigent que les lampes soient reliées en série, il suffit de modifier légèrement le mécanisme de l'appareil pour pouvoir adopter ce montage.

Digitized by Google

BOUGIE JABLOCHKOFF

§ **127. Bougie. Colombin.** — Les régulateurs comportent tous, comme on vient de le voir, un mécanisme plus ou moins compliqué. Ils exigent donc des soins et de l'entretien. En outre, dans certaines usines contenant des poussières ou des vapeurs délétères, les organes s'encrassent et se détériorent. C'est pour éviter ces inconvénients qu'on a imaginé les *bougies*. Elles sont formées de 2 charbons placés parallèlement et séparés par une matière isolante qui se consume avec eux. Ils sont portés par un support métallique qui sert en même temps à leur transmettre le courant. Les charbons sont fabriqués par le procédé Carré; ils ont généralement 4 millimètres de diamètre. La matière isolante se nomme *colombin*; il faut qu'elle isole bien à froid, et qu'à la température de l'arc elle soit assez conductrice; sinon le courant se répartirait sur toute la longueur des charbons, et l'arc ne serait pas limité à leur extrémité. Le colombin doit se consumer en même temps que les charbons, sans subir de retrait et sans laisser de vides. On le fait avec un mélange de 2 parties de sulfate de chaux, pour 1 partie de sulfate de baryte. Cette substance remplit bien les conditions du programme.

Pour que l'allumage se fasse, on constitue une *amorce*; on trempe le bout de la bougie dans une pâte de charbon. Ce corps se consume vite sous l'action électrique et permet à l'arc de se former. Comme, avec un courant continu, un charbon s'userait deux fois plus vite que l'autre, il est nécessaire d'employer des courants *alternatifs*.

§ **128. Chandelier.** — Les bougies brûlent vite. Pour remédier à ce défaut, on emploie des chandeliers comportant ordinairement 4 bougies. Elles sont placées dans des

Digitized by Google

pinces dont les deux branches sont isolées l'une de l'autre et qui communiquent respectivement avec chaque conducteur. Un commutateur permet de substituer une nouvelle bougie à celle qui vient de se consumer. Cet appareil est manœuvré à la main ou automatiquement. Dans le premier cas, on dispose ordinairement autant de circuits qu'il y a de bougies sur un chandelier ; ces circuits sont commandés par un commutateur central. Avec un chandelier à 4 bougies, il suffit de 5 conducteurs, les 4 premiers sont réunis chacun à une bougie, et le cinquième sert de fil de retour commun.

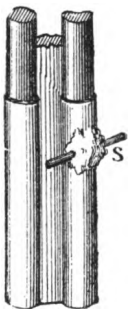


Fig. 105.

Chandelier de M. Clariot. — Le chandelier de M. Clariot produit automatiquement l'allumage. Au manchon de cuivre (fig. 105) qui forme la base d'un des crayons, on fixe un bout de fil métallique S par une goutte de soudure très fusible. Tant que l'arc est placé assez haut, la bougie, pressée par le ressort *m*, maintient la tige *pp* dans la position indiquée à droite de la fig. 106. Quand l'arc est en bas, il fait fondre la soudure de S ; la tige *pp* n'étant plus retenue se relève par l'effet du ressort *r*, et le cône I vient toucher la partie métallique X.

Considérons maintenant la fig. 107. Les 4 bougies sont représentées en $b_1 b'_1$, $b_2 b'_2$, $b_3 b'_3$, $b_4 b'_4$. Les 4 charbons b_1, b_2, b_3, b_4 communiquent avec une pièce centrale qui leur amène le courant par le conducteur *aa*.

Chacun des autres charbons est relié avec un des secteurs 1, 2, 3, 4, qui divisent la circonférence en 4 parties égales et qui sont isolés les uns des autres. L'un d'eux communique avec la source électrique par le conducteur *q*, qui est mobile et qu'on peut appliquer à volonté sur tel ou tel secteur.

Le rôle du cône I est de produire à un moment donné

Digitized by Google

la communication entre deux de ces secteurs. Supposons l'appareil disposé comme l'indique la fig. 107. Le courant arrivant en *aa* passe à travers la bougie $b_1\,b'_1$ et s'en va par *qq*, toutes les autres bougies étant en dehors du circuit. Quand $b_1\,b'_1$ est brûlée, grâce à la disposition du petit fil métallique S dont nous avons parlé plus haut, le cône I établit le contact entre les secteurs 1 et 2. Dès lors,

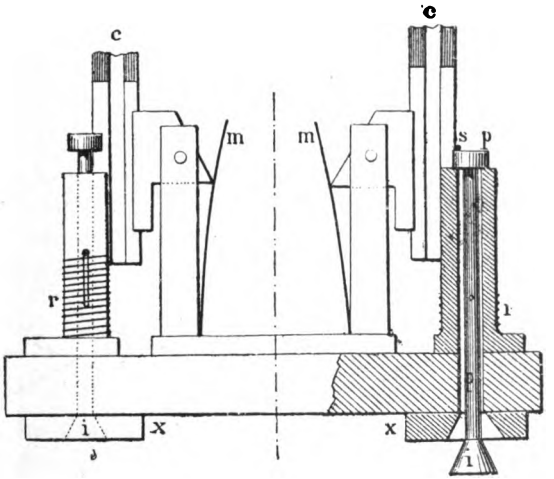


Fig. 106.

le courant passe en $b_2 b'_2$ par les secteurs 2, 1, et s'en va suivant *qq*. La même chose se reproduit successivement pour chacune des bougies restantes.

On peut se demander comment l'électricité passe par $b_2\,b'_2$ dès que le contact est établi en I, et pourquoi l'arc ne continue pas à se former en $b_1\,b'_1$. C'est que, la bougie $b_2\,b'_2$ étant munie de son amorce à sa partie supérieure, l'électricité trouve là une résistance très faible et y passe immédiatement. En même temps, le courant diminue en

Digitized by Google

$b_1 b'_1$, la température s'abaisse entre ces 2 charbons, la résistance de l'arc $b_1 b'_1$ augmente par suite, et atteint rapidement une limite telle que l'arc s'éteint ; à ce moment, la bougie $b_2 b'_2$ se trouve seule en circuit et s'allume.

Cette disposition qui n'exige aucun mécanisme permet de réaliser une grande économie sur les bougies que l'on brûle ainsi presque totalement, au lieu d'en perdre une certaine longueur, comme cela a lieu ordinairement.

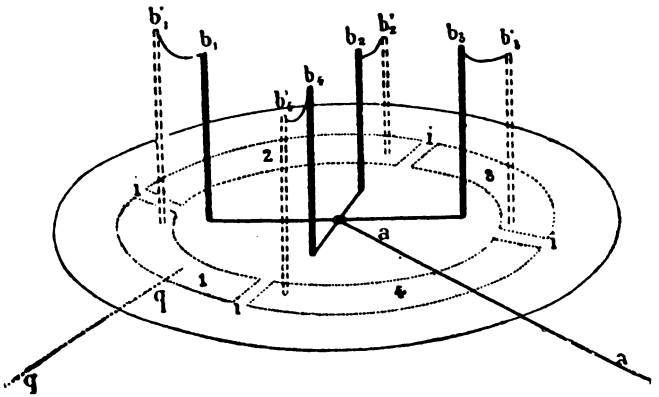


Fig. 107.

§ 129. **Constantes des bougies.** — La bougie, grâce à sa simplicité, est commode pour des chantiers, des magasins, des gares, etc..., chaque fois qu'on n'a pas besoin d'une lumière fixe. Son inconvénient est de produire des variations d'éclat continuelles. Pour en amortir l'intensité, on l'entoure d'un globe de verre opalin. En outre, une grande partie de la lumière se trouve localisée entre les 2 charbons. La dépense de travail varie avec le diamètre des charbons et l'intensité lumineuse. Voici quelques chiffres à ce sujet.

Digitized by Google

DIAMÈTRE des charbons en millimètres	INTENSITÉ lumineuse en carcels	PUISSANCE en chevaux absorbée par la machine	DIFFÉRENCE de potentiel aux bornes du foyer en volts	INTENSITÉ en ampères
6	90	1,5	45	13,5
4	42 à 43	1,0	42	8 à 9
3	25 à 30	0,33 à 0,40		

L'expérience prouve que la bougie de 4 mm. est la plus avantageuse ; en dépensant une puissance d'un cheval, on éclaire amplement un espace compris dans un rayon de 10 mètres.

La bougie, qui a eu beaucoup de succès au début de l'éclairage électrique, est presque abandonnée depuis que les régulateurs se sont perfectionnés et simplifiés.

LAMPES A INCANDESCENCE

§ **130. Considérations théoriques.** — Dans les lampes à incandescence, on obtient la lumière en faisant passer un courant relativement intense à travers un filament peu conducteur de l'électricité ; la haute température produite rend le filament lumineux.

Pour préserver ce dernier de la combustion, on le renferme dans une ampoule en verre où l'on fait un vide aussi pafrait que possible. On s'est d'abord servi d'un filament de platine ; aujourd'hui, on emploie d'une façon presque générale le charbon, qui offre une résistance 250 fois plus grande, est infusible et possède, à température égale, un pouvoir rayonnant plus grand que le métal.

L'intensité lumineuse varie suivant la résistance du fila-

Digitized by Google

ment et l'intensité du courant, et par suite, selon la différence de potentiel entre les bornes.

Le rendement lumineux diminue à mesure que le nombre d'heures de service augmente. M. Fontaine évalue qu'après 500 heures de travail la diminution est de 10 p. 100; après 800 heures, 15 p. 100; après 1 000 heures, 20 p. 100.

La durée des lampes à incandescence est en général de 1 000 heures. Ce temps diminue beaucoup quand on dépasse la différence de potentiel normale; il augmente au contraire quand on reste au-dessous de cette limite.

La lampe à incandescence, dans les débuts, exigeait 5 watts par bougie. Maintenant on obtient couramment 3 1/2 et même 3 watts.

Il existe 2 catégories de lampes à incandescence : celles à gros filament, celles à filament fin. Les lampes à filament fin sont presque exclusivement employées pour l'éclairage des habitations et des ateliers; elles exigent des tensions de 90 à 110 v. avec une intensité de 0,50 à 0,75 amp. On les monte en dérivation. Les lampes à gros filament, peu employées en France, ont une faible résistance électrique; on s'en sert pour les installations à intensité constante et à tension variable et on les monte en série; elles exigent 3 et même 2 watts par bougie.

§ **131. Lampe Edison.** — Edison emploie pour ses lampes un filament très mince de bambou carbonisé. Les fibres sont découpées dans de petites lames provenant de la surface extérieure de la plante. On les place dans des moules plats en nickel, dans lesquels on les recourbe en U. Les moules une fois fermés sont entassés dans des moufles à fermeture hermétique, que l'on achève de remplir avec de la plombagine, pour empêcher le contact de l'air. Les moufles sont placés dans une étuve où on les chauffe assez longtemps à une température élevée. On

Digitized by Google

obtient ainsi des filaments de carbone très flexibles et jouissant en même temps d'une grande solidité.

Ce conducteur présente à ses extrémités deux petits renflements (fig. 108), sur lesquels on fait la jonction avec les fils de platine qui doivent lui amener le courant; ces fils sont contenus dans un petit tube fermé, au fond duquel ils sont scellés. Pour consolider leur jonction avec les filaments de carbone, et pour assurer la communication électrique, le tube est soumis à un bain galvanoplastique de sulfate de cuivre; on établit ainsi, par une couche de cuivre mince et continue, une liaison parfaite entre le circuit extérieur et les extrémités du charbon.

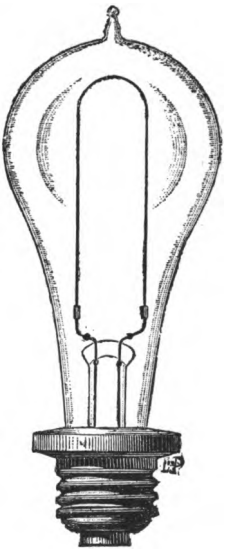


Fig. 108.

Ensuite le tube est introduit dans une ampoule en verre, avec laquelle il est soudé, et qui sert d'enveloppe à la lampe. On fait le vide dans cette ampoule au moyen d'une pompe à mercure de Sprengel.

Enfin, la lampe est soudée au chalumeau et lutée avec du plâtre dans un manchon en cuivre fileté extérieurement et mis en contact avec un des fils de platine. Une petite rondelle en cuivre est scellée au milieu du plâtre à la base de la lampe et communique avec l'autre fil de platine. Pour mettre la lampe en place dans une installation, on visse le manchon dans une douille en bois présentant 2 pièces de cuivre, qui viennent faire respectivement contact avec le manchon et la rondelle, et auxquelles aboutissent les 2 conducteurs du courant.

Digitized by Google

La lampe étant montée, on en fait l'essai, pour déterminer sa résistance à froid et à chaud, et la différence de potentiel correspondant à sa marche normale.

Les différents types de lampes Edison sont contenus dans le tableau suivant :

DÉSIGNATION	INTENSITÉ lumineuse en bougies	DIFFÉRENCE de potentiel aux bornes en volts	Intensité approximative en ampères	RÉSISTANCE à chaud en ohms	NOMBRE de lampes par cheval fourni à la machine
A	32	90 à 115	1,20	66,6	4
A^{16}	16	90 à 110	0,75	135,0	8
A^{10}	10	90 à 110	0,55	181,8	10,8
B^{8}	8	45 à 55	0,75	62,5	8,16
AC^{16}	12 à 16	23 à 28	1,60	15,7	14,8
B^{20}		45 à 55	1,20	45,4	10,8
B^{10}		45 à 55	0,60	83,3	20

La durée moyenne de ces lampes est de 1 000 heures.

§ **132. Lampe Bernstein.** — Ces lampes, fabriquées aux États-Unis, fonctionnent avec une différence de potentiel variant de 7 à 14 volts, suivant qu'elles produisent de 18 à 50 bougies. L'intensité est de 10 amp. Elles dépensent donc entre 4 et 2,8 watts par bougie. Dans cette lampe, le charbon *a* (fig. 109) est fixé aux extrémités de 2 fils conducteurs *b*, *b'*, disposés de façon à se rapprocher l'un de l'autre au point *c*; en *d*, *d'* sont placées des douilles formées de matière isolante et réunies par un ressort à boudin. Si le charbon *a* se détruit, le ressort rapproche les 2 conducteurs *b* et *b'*, qui viennent se toucher en *c* et fermer le circuit. Grâce à cette disposition, on peut disposer les lampes en série. L'extinction de l'une n'entraîne pas la rupture du circuit.

Le système de distribution à intensité constante, où les

Digitized by Google

lampes sont disposées en série, est, ainsi que nous le verrons plus tard, plus économique comme installation que celui à différence de potentiel constante, où les lampes sont en dérivation.

Afin qu'on ne produise pas une interruption dans le cir-

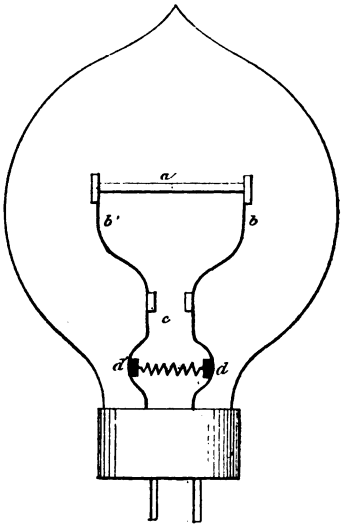


Fig. 109.

cuit en série quand on retire une lampe de son support, ce dernier est établi de telle sorte que, pour retirer la lampe, on doit établir un court-circuit dans le support, et cette communication ne peut être interrompue tant que la lampe n'est pas en place.

§ 133. **Durée des lampes.** — Comme nous l'avons dit en commençant, la durée des lampes à incandescence dépend beaucoup du travail qu'on leur demande. Chaque lampe

Digitized by Google

est construite pour une certaine différence de potentiel. En dépassant cette limite, on augmente beaucoup le rendement lumineux, mais on diminue la durée. Ce fait est démontré par les chiffres suivants observés à l'usine Edison d'Ivry sur des lampes de 16 bougies construites pour une différence de potentiel de 100 volts :

	Volts		Heures
Différence de potentiel	95	Durée de la lampe	3595
—	96	—	2751
—	97	—	2135
—	98	—	1645
—	99	—	1277
—	100	—	1000
—	101	—	785
—	102	—	601
—	103	—	477
—	104	—	375
—	105	—	284

On se demande donc de quel côté on aurait intérêt à réaliser une économie, sur les lampes ou sur le travail moteur? Il est difficile d'établir une règle fixe à cet égard. Quand le travail moteur coûte peu, comme dans le cas d'un moteur hydraulique, il est certain qu'il vaut mieux ménager les lampes et les maintenir à une tension inférieure à celle qu'elles comportent. Dans le cas, au contraire, ou l'on est limité par le travail, il sera préférable de sacrifier les lampes. En effet, on obtient une intensité lumineuse beaucoup plus grande en forçant un peu la différence de potentiel, c'est-à-dire avec un faible excès de travail.

On peut augmenter la durée des lampes à incandescence en changeant le sens du courant d'une façon régulière. On a constaté encore que la durée de ces lampes était accrue quand on les alimentait par des accumulateurs au lieu de les atteler directement sur une dynamo.

Comme on l'a vu, les divers types de lampes sont caractérisés par la différence de potentiel E et l'intensité I

Digitized by Google

nécessaires à leur fonctionnement. Le produit E I donne le nombre de watts dépensé.

Et le quotient

$$\frac{E\,I}{g \times 75}$$

ou

$$\frac{E\,I}{7{,}35}$$

donne en chevaux le travail absorbé par une lampe pendant une seconde. A ce chiffre on doit ajouter l'énergie consommée par la résistance des conducteurs. Nous reviendrons plus tard sur ce sujet.

Pour obtenir avec les lampes à incandescence une lumière bien régulière, et, en outre, pour prolonger leur durée, il est nécessaire que le moteur ait une marche parfaitement uniforme.

Digitized by Google

CHAPITRE II

INSTALLATION DE LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE

§ **134. Choix des lampes.** — Quand on a besoin d'un foyer lumineux unique d'une grande intensité, on se sert des régulateurs monophotes tels que celui de Serrin. On peut obtenir ainsi une intensité de 2 000 carcels. C'est le système qu'on emploie dans les phares. Pour les signaux de la guerre et de la marine on se sert de ces mêmes appareils, et on les munit d'un réflecteur Mangin qui permet de projeter la lumière à grande distance. En disposant sur un chariot une chaudière portant un moteur Brotherood attelé directement à une dynamo, on a un foyer lumineux qu'on peut déplacer facilement et fort utile à la guerre.

Quand on veut diviser la lumière, il faut se servir des autres systèmes de régulateurs décrits précédemment, tels que ceux à dérivation ou différentiels, des bougies et des lampes à incandescence.

Les régulateurs donnent une intensité lumineuse variant de 40 à 500 carcels; ils conviennent pour les rues, les chantiers, les gares, les grands magasins.

La bougie Jablochkoff est avantageuse dans les locaux où l'atmosphère est chargée de poussières ou de gaz délétères qui pourraient nuire au fonctionnement des régulateurs; mais elle ne donne pas une lumière fixe.

Les lampes à incandescence doivent être adoptées quand

Digitized by Google

on veut diviser la lumière, comme dans les appartements, magasins, bureaux, filatures, moulins, navires, etc. Enfin, dans bien des cas, on peut combiner ensemble ces divers modes d'éclairage.

§ **135. Distribution de la lumière.** — Les chiffres suivants sont empruntés à M. Hospitalier (*Formulaire pratique de l'électricien*).

Pour les cours d'usines, les places, les gares non couvertes, on obtient de bons résultats avec des foyers de 15 ampères placés à 12 mètres de hauteur.

Pour l'éclairage de gares où ne se fait aucun travail, ou de chantiers de terrassement, on admet généralement :

Lampes de	10	ampères.	Hauteurs 10 mètres.
—	13	—	15 à 16 —
—	15	—	18 —
—	18	—	20 —

Lorsque dans l'espace en question on fait un certain travail, il faut diminuer la hauteur de 2 mètres environ.

Dans un intérieur, chambre, salon, etc., on obtient un éclairage suffisant par la règle suivante : Disposer des lampes de 8 à 20 bougies, et calculer leur nombre de telle façon que la quantité de lumière totale qu'elles produisent exprimée en bougies décimales (0,1 bec Carcel) représente la moitié du volume de la chambre exprimé en mètres cubes.

Soit une chambre ayant une surface de 40 m^2, avec une hauteur de 3 m ; la quantité de lumière devra être de 60 bougies ; on pourra donc employer 8 lampes de 8 bougies.

On peut encore se régler d'après la surface, en admettant 1 à 2 bougies décimales par mètre carré pour un éclairage moyen, et 4 à 5 bougies pour un éclairage bril-

Digitized by Google

lant. Pour une salle de théâtre on compte 0,5 bougie par m^3 du volume total (salle et scène).

Il est impossible d'établir aucune règle pour l'éclairage industriel. En effet, dans une usine, chaque machine, chaque outil doivent être éclairés d'une façon particulière. La lumière n'est pas répartie de la même manière, par exemple, dans un moulin ou dans une filature; une étude spéciale est donc nécessaire dans chaque cas.

§ **136. Montage des régulateurs.** — Les régulateurs peuvent être placés soit en série, soit en dérivation, soit enfin en séries multiples.

1° *Montage en série.* — Tous les régulateurs sont placés sur le même conducteur à la suite les uns des autres

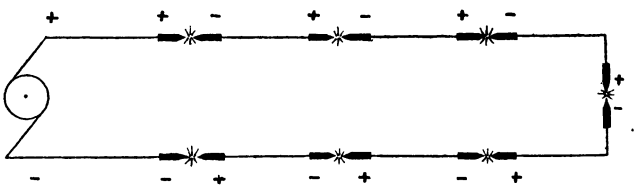


Fig. 110.

(fig. 110); le système présente une très grande simplicité d'installation, puisqu'il ne comporte qu'un circuit. La différence de potentiel aux bornes de la machine est égale à la somme des différences de potentiel exigées par chaque régulateur, plus celle qui résulte de la résistance des conducteurs; elle est donc assez élevée. Quant à l'intensité du courant, elle a pour valeur celle d'un seul régulateur, de telle sorte que le diamètre du conducteur peut être relativement faible.

Ce système a l'inconvénient de rendre toutes les lampes solidaires entre elles; l'extinction de l'une entraîne celle

Digitized by Google

des autres, si les régulateurs ne sont pas munis d'appareils automatiques qui les mettent hors circuit.

Quand on met des lampes hors circuit, on les remplace par des résistances équivalentes. Les résistances intercalées dans le circuit ont le défaut de dépenser du travail en pure perte. On peut éviter cet inconvénient et rendre pourtant l'éclairage général indépendant de l'extinction de plusieurs lampes. Il faut employer des dynamos à intensité constante. Certaines machines, comme on l'a vu, sont construites dans ce but. Leur force électromotrice est rendue d'une façon automatique proportionnelle au nombre de foyers allumés. La machine Thomson-Houston est dans ce cas, comme nous l'avons dit § 66.

2° *Montage en dérivation.* — Les régulateurs sont branchés sur 2 conducteurs partant de la dynamo (fig. 111).

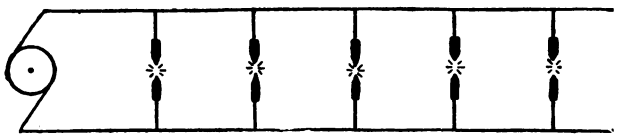


Fig. 111.

Dans ce cas, la différence de potentiel aux bornes de la machine est égale à celle d'une seule lampe; mais l'intensité du courant est égale à la somme des intensités de chaque foyer. Les diamètres de tous les fils de dérivation doivent être calculés pour que la différence de potentiel soit la même aux bornes de toutes les lampes, ce qui complique l'installation; mais les régulateurs sont indépendants les uns des autres. Une résistance avec interrupteur est placée sur chaque dérivation, pour compenser les différences de résistance.

Une autre disposition en dérivation consiste à mettre

Digitized by Google

chaque régulateur sur un circuit spécial aboutissant aux bornes de la dynamo (fig. 112). La différence de potentiel et l'intensité se déterminent comme précédemment.

On augmente ainsi la dépense en conducteurs, mais on assure l'indépendance absolue des foyers. On ajoute à chaque circuit un rhéostat pour équilibrer la résistance.

Le montage en dérivation convient bien pour une installation située à proximité de la dynamo. Dans le cas contraire, il a l'inconvénient d'exiger des conducteurs de fort diamètre, à cause de la grande intensité du courant, ce qui augmente beaucoup la dépense première.

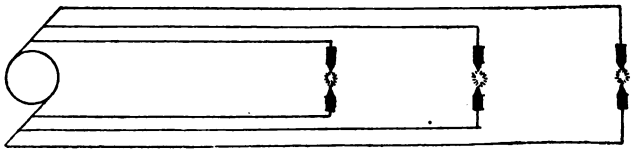


Fig. 112.

3° *Montage mixte ou en séries multiples.* — Ce système présente à la fois les avantages et les défauts des deux précédents. La différence de potentiel est égale à la somme des différences de potentiel exigées par les appareils d'une même série, et l'intensité totale à la somme des intensités de chaque série.

Ce système exige des conducteurs de moins gros diamètre que celui en dérivation; mais les foyers de chaque série sont solidaires, et si l'un vient à s'éteindre, il doit être remplacé par une résistance, pour que les autres régulateurs du même circuit n'en soient pas influencés.

§ **137. Montage des lampes à incandescence.** — Tout ce qu'on a dit pour les régulateurs peut se répéter pour les lampes à incandescence, avec cette observation que le montage en série est réservé aux lampes à faible résistance

Digitized by Google

(comme celle de Bernstein), tandis que pour les lampes à résistance élevée on adopte soit le montage en dérivation, soit le montage mixte, suivant que la force électromotrice de la dynamo est égale à la différence de potentiel aux bornes d'une lampe, ou au double, triple, quadruple, etc., de cette différence de potentiel.

Montage en dérivation. — Le montage en dérivation est le plus adopté pour les lampes à incandescence.

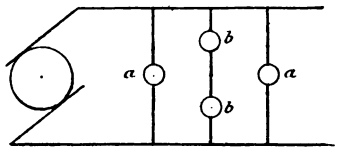


Fig. 113.

Dans le même circuit on ne place que des lampes exigeant la même différence de potentiel. Si l'on doit employer à la fois des lampes de tensions différentes, *a*, *a*, *b*, *b*, telles, par exemple, que *a* exige une tension double de *b*, on dispose le montage comme l'indique la

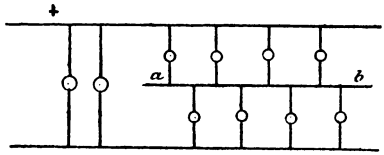


Fig. 114.

fig. 113. Avec cette manière de procéder, quand on met une lampe hors circuit, la seconde doit s'éteindre aussi.

Lorsqu'on a une grande quantité de lampes disposées de cette façon, on peut les réunir par un conducteur *a b* (fig. 114). Par ce procédé, l'extinction d'une lampe n'en-

Digitized by Google

traîne pas absolument celle des autres. Mais on ne doit pas éteindre plus d'une lampe sur 10; car lorsqu'on met des lampes hors circuit, celles qui sont situées du même côté brûlent plus et peuvent se trouver endommagées.

Montage en boucle. — Dans le montage en dérivation, les lampes placées à l'extrémité des conducteurs possèdent une tension moindre que celles qui sont à l'origine, à cause de la résistance du circuit. Par la disposition *en boucle* (fig. 115) la résistance se trouve uniformément répartie sur toutes les lampes.

Ce système complique l'installation et augmente la

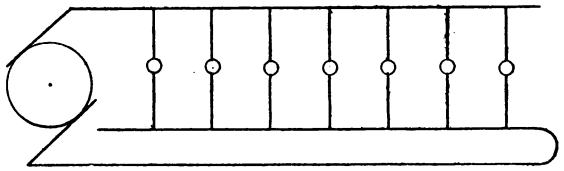


Fig. 115.

dépense en fil; mais ce défaut est compensé par le bon fonctionnement de l'éclairage résultant de l'égalité des divers circuits.

Pour calculer la section du conducteur dans ce montage, il faut supposer toutes les lampes à l'extrémité du circuit.

Montage en ceinture. — La figure 116 montre une disposition adoptée dans quelques cas particuliers, quand, par exemple, il s'agit d'éclairer les côtés d'une salle, d'un théâtre. C'est ce qu'on appelle le *montage en ceinture.* Il présente l'avantage de mettre toutes les lampes exactement à la même distance des bornes du circuit. Ainsi, dans une salle où l'on devra disposer des lampes sur les 4 côtés, le circuit en ceinture assurera à toutes les lampes le même potentiel.

Digitized by Google

En entrant dans la salle, chacun des fils, positif et négatif, prend une direction opposée pour en faire le tour. La première lampe à gauche est branchée au commencement du fil positif et à la fin du négatif. La dernière est placée

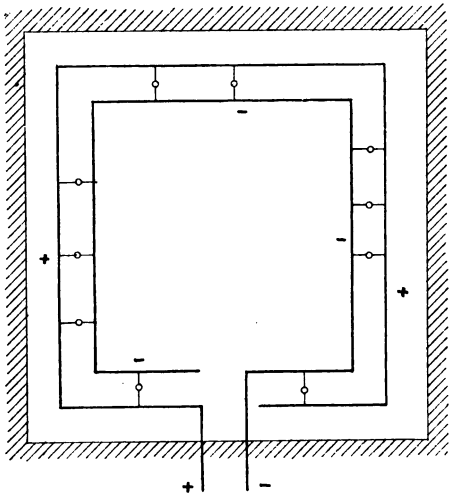


Fig. 116.

au commencement du négatif et à la fin du positif.

La section du conducteur sur le circuit en ceinture se calcule *sur la moitié de la longueur.*

Montage à trois fils d'Edison. — Par ce système, Edison est arrivé à réduire le poids des conducteurs. Deux dynamos M_1, M_2 sont réunies en tension. Le circuit est formé de 2 conducteurs *a a*, *b b*, et d'un troisième *c c*, dit *de compensation*, partant du point de jonction des machines. Les lampes sont placées en dérivation, comme l'indique la fig. 117.

Digitized by Google

Quand le nombre de lampes allumées entre *a a* et *c c* est le même qu'entre *b b* et *c c*, aucun courant ne traverse le fil de compensation. Au contraire, si l'un des circuits a, par exemple, 10 lampes de plus que l'autre, *c c* est parcouru par un courant dont l'intensité est 10 fois celle d'une lampe seule. Dans la pratique, on doit, au point de vue économique, éviter autant que possible que cette circonstance se présente.

La disposition à 3 fils n'est pas autre chose que la juxtaposition de 2 circuits distincts sur chacun desquels les lampes seraient en dérivation.

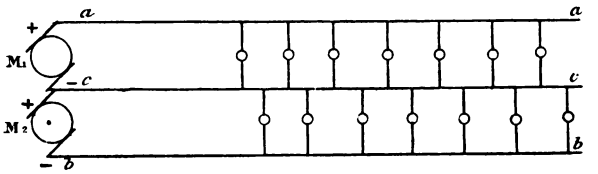


Fig. 117.

Ce système permet de réaliser une économie de 25 p. 100 dans le poids du cuivre qui serait employé sur 2 groupes séparés alimentés par 2 fils.

Comme la perte d'énergie est la même que dans un circuit simple, et comme le nombre des lampes est double, on voit que dans la distribution à 3 conducteurs la perte est 1/2 de ce qu'elle serait dans un système à 2 fils. Aussi ce procédé permet-il de distribuer économiquement le courant dans un rayon de 1 200 mètres.

Distribution à trois fils par câbles équilibrés. — La figure 118 représente ce système de distribution. Il est employé par la compagnie Edison, pour le secteur électrique comprenant les boulevards entre l'Opéra et le faubourg Saint-Martin. C'est le système à 3 conducteurs dont

Digitized by Google

il a été question précédemment, avec cette différence que les conducteurs de distribution vont en diminuant d'un côté et en croissant de l'autre, de manière que la section totale soit toujours la même partout. Par ce procédé, la tension est constante en tous points, au moins pour la distribution moyenne des lampes correspondant aux sections calculées en chaque point.

Chaque machine donne 105 à 125 volts aux bornes.

L'excitation de chaque couple de machines se fait direc-

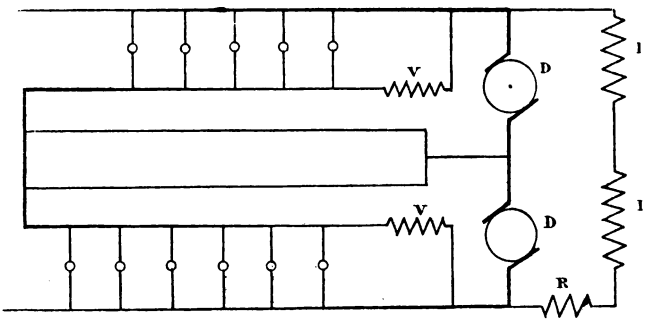


Fig. 118.

tement au tableau entre 200 et 240 volts, les inducteurs I, I étant groupés deux à deux en tension. Chaque circuit excitateur porte une résistance variable R, et l'on peut insérer une résistance V dans le circuit extérieur. Comme on le voit, le fil neutre est double. Cette disposition a été adoptée pour faciliter la pose.

Ce système peut être simplifié comme l'indique la figure 119, ce qui le rend plus économique.

Distribution à cinq fils. — Ce procédé recommandé par Siemens et Halske est monté à Paris, pour la canalisation du secteur électrique de Clichy.

Digitized by Google

Deux feeders M, M (fig. 120), partant de l'usine avec une différence de potentiel de 440 volts, amènent le courant dans le quartier où il doit être distribué. Là sont établis 3 autres fils A, B, C, de manière à former 4 ponts. Les lampes sont réparties sur chacun de ces ponts avec une différence de potentiel de 110 volts. Les choses se passent comme si l'on disposait les lampes par séries de quatre. Pour un fonctionnement normal, il faudrait que le nombre de lampes allumées fût le même sur chaque pont, ce qui est

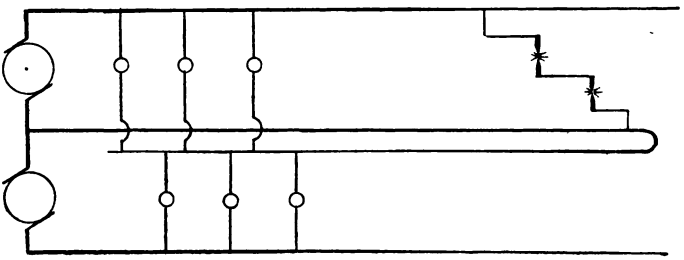


Fig. 119.

impossible à réaliser en pratique. Pour y remédier on place des égalisateurs automatiques qui rétablissent l'équilibre.

Tous les branchements sont disposés suivant le même principe. Ce système permet de distribuer l'électricité jusqu'à une distance de 3 000 mètres de la station centrale.

Différents procédés ont été imaginés pour mettre hors circuit une lampe à incandescence qui ne fonctionne plus, quand cette lampe fait partie d'une série. Dans la lampe Siemens, par exemple, une dérivation est établie sur les bornes ; elle comprend un électro-aimant qui ne peut attirer son armature que quand il est traversé par le courant total, c'est-à-dire quand le filament est brisé. Le mouve-

Digitized by Google

ment de l'armature libère un ressort qui vient établir un circuit entre les deux bornes. La lampe Bernstein présente, comme on l'a vu § 132, une disposition automatique.

Distribution par feeders. — Ce système est très employé dans les stations centrales. De l'usine U (fig. 121), partent des *fils d'alimentation* ou *feeders* F, F, qui aboutissent à certains points servant de centres de distribution *c*, *c*. (Aucune dérivation n'est prise sur le parcours des feeders.)

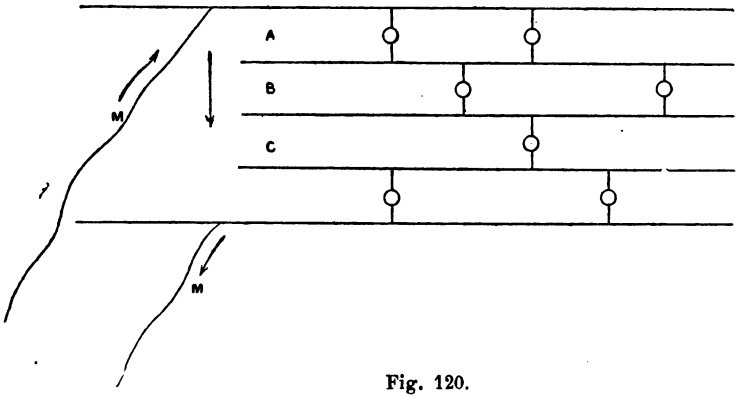


Fig. 120.

Aux centres *c*, *c* sont disposés des conducteurs *principaux* ou *de distribution* M, M, qui se rattachent aux feeders et sur lesquels s'embranchent les fils des abonnés. On établit un réseau de conducteurs principaux auxquels le courant est fourni par des feeders en des points nombreux; le potentiel se trouve ainsi égalisé dans tout le réseau, quelles que soient les variations de la consommation, à la condition qu'on le maintienne fixe aux centres d'alimentation.

Dans ce but, des fils fins partant de ces centres et nommés *fils pilotes*, aboutissent à l'usine, où ils commandent des

Digitized by Google

voltmètres. Un rhéostat est disposé sur chaque feeder, et il est manœuvré d'après les indications du voltmètre.

En multipliant suffisamment les centres de distribution, on peut étendre la zone d'action. On cherche autant que possible à former avec les conducteurs de distribution des figures fermées; car si un feeder vient à manquer en un

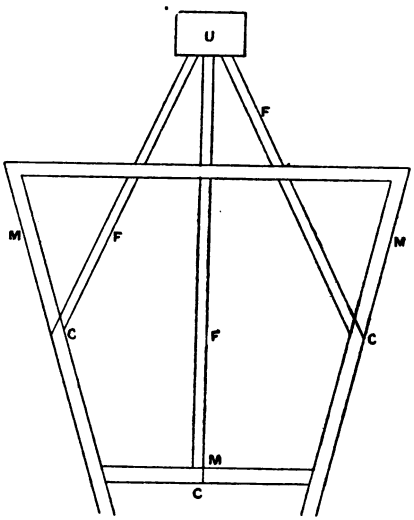


Fig. 121.

point, le courant peut arriver par les conducteurs voisins.

Le système à 3 fils est applicable à une distribution par feeders. Dans ce cas, pour égaliser le courant dans les 2 circuits, on se sert de l'appareil suivant, nommé *Égalisateur*, qu'on place au centre de distribution.

Égalisateur. Le troisième fil, qui ne sert ordinairement que de conducteur de compensation, n'est pas ramené à l'usine; on emploie au centre de distribution un système de

Digitized by Google

2 induits calés sur le même arbre et tournant dans le même champ. On fait communiquer un balai de chaque induit avec le conducteur de compensation, tandis que chacun des balais restants est relié à un des conducteurs principaux. Si les lampes ne sont pas uniformément réparties sur les 2 circuits, un des induits fonctionne comme moteur et absorbe l'excès de courant d'un circuit ; tandis que l'autre induit, agissant comme générateur et mis en mouvement par le premier, ajoute du courant au circuit qui n'en a pas assez.

§ 138. Montage combiné de régulateurs et de lampes à incandescence. — 1° *Montage en tension.* Dans ce système,

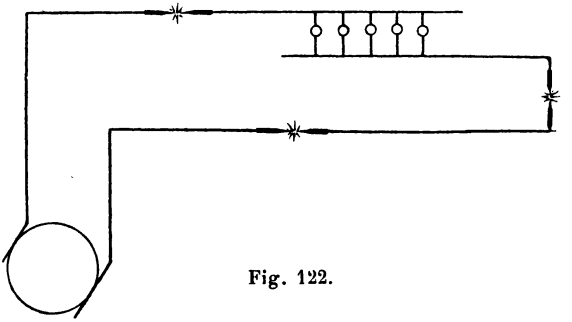


Fig. 122.

les lampes à arc sont montées en tension avec des groupes de lampes à incandescence, comme l'indique la fig. 122. Ce genre de montage exige que l'intensité soit constante dans tout le circuit. Il faut donc que chaque groupe de lampes à incandescence contienne assez de lampes pour que l'intensité du courant qui traverse ce groupe soit égale à celle qui passe par les régulateurs.

L'inconvénient de ce système est que les différents foyers sont dépendants les uns des autres.

2° *Montage en dérivation* (fig. 123). Les lampes à incan-

Digitized by Google

descence et les régulateurs sont tous installés en dérivation sur les conducteurs. La différence de potentiel devant être la même sur chaque dérivation, il faut mettre sur chacune d'elles un nombre de régulateurs tel qu'ils représentent la

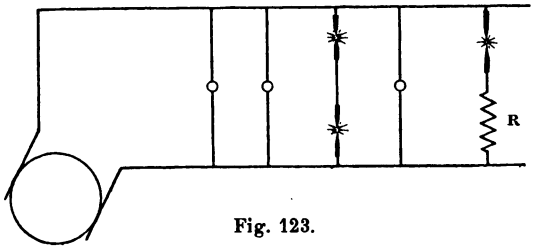


Fig. 123.

tension nécessitée par une lampe à incandescence, ou établir l'équilibre par une résistance R.

Si l'on veut, par exemple, installer à la fois 1 lampe à

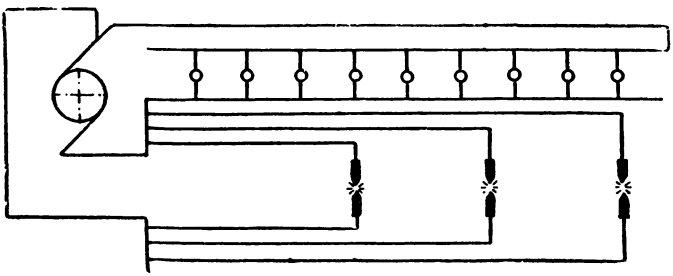


Fig. 124.

incandescence de 100 volts et 1 régulateur de 65 volts et de 4 ampères, la résistance R qu'on devra ajouter à la dérivation du régulateur est donnée par l'équation :

$$65 + R \times 4 = 100$$
$$R = 8{,}7 \text{ ohms.}$$

Un fil de ferro-nickel de 0,5 mm. de diamètre et de 1 m.

Digitized by Google

a une résistance de 3,989 ohms, la longueur qu'on devra employer comme résistance est donnée par

$$\frac{8,7}{3,989} = 2,2 \text{ m.}$$

Le montage en dérivation est celui qu'on adopte généralement, parce qu'il assure l'indépendance des divers groupes.

Dans une installation importante, il vaut mieux en général placer les régulateurs et les lampes à incandescence sur des circuits distincts alimentés par des dynamos spéciales; on obtient ainsi un fonctionnement plus régulier.

On peut encore établir un circuit spécial pour les lampes à incandescence, et monter les régulateurs en dérivation sur un autre circuit (fig. 124). De cette façon, les variations des arcs n'influencent pas les lampes à incandescence.

§ **139. Montage des bougies Jablochkoff.** — Les bougies Jablochkoff se montent toujours en série simple ou en séries multiples. On place ordinairement 5 bougies dans chaque circuit. La tension nécessaire dans chacun d'eux est égale à la tension exigée par une bougie multipliée par le nombre de bougies disposées sur le circuit; et l'intensité est égale à celle que prend un seul foyer.

Les bougies sont toujours alimentées par des courants alternatifs, ainsi que nous l'avons dit précédemment en décrivant ces appareils. L'installation exige donc une dynamo alternative avec machine excitatrice.

§ **140. Calcul des conducteurs.** — Le fer n'est pas employé comme conducteur dans les installations d'éclairage électrique, à cause de sa faible conductibilité.

On ne se sert que du cuivre, et du bronze phosphoreux ou silicieux. On emploie rarement des fils ayant plus de 5 mm. de diamètre, la pose devenant alors trop difficile. Au-dessus de cette dimension, on se sert de câbles.

Digitized by Google

La détermination du diamètre est très importante. On a intérêt à l'augmenter, pour diminuer la résistance, et par suite l'énergie dépensée; mais on est limité par des considérations économiques, à cause du prix élevé du métal. On doit encore veiller à ce que l'intensité du courant ne dépasse pas une certaine limite; car le conducteur peut s'échauffer et produire des accidents.

La température du câble dépend de la nature de l'isolement et des conditions d'installation. Un fil nu ayant une section de .1 mm², par exemple, laisse facilement passer 10 amp. sans échauffement anormal; tandis qu'un câble de 70 mm². *isolé au caoutchouc* supporte à peine 2 amp. par millimètre carré.

C'est qu'un fil nu perd une partie de sa chaleur d'abord par rayonnement vers les corps voisins, ensuite par convection, c'est-à-dire transmission directe à l'air; un fil isolé se refroidit beaucoup moins.

Voici les chiffres qu'on adopte généralement pour l'intensité des courants traversant des conducteurs en cuivre :

	Ampères par mm². de section.
Fils nus tendus en l'air.....	6
Fils recouverts de coton..... ...	4
Fils recouverts de caoutchouc.....	2,5
Câbles à grand isolement ayant une section comprise entre 10 et 200 mm²....	1,5
Câbles à grand isolement ayant une section supérieure à 200 mm², ou renfermant les 2 conducteurs sous la même enveloppe.....	1,00 à 0,75.

Ces chiffres n'ont rien d'absolu; ils indiquent simplement les limites qu'il est prudent de ne pas dépasser.

En pratique, pour les conducteurs isolés, on adopte comme moyenne le chiffre de 2 amp. par mm² de section.

D'après M. Fontaine, la perte de force électromotrice

Digitized by Google

due à la canalisation doit être d'environ 10 p. 100, répartie comme il suit : 6 p. 100 pour les conducteurs principaux, 2 p. 100 pour les conducteurs intermédiaires, et 2 p. 100 pour les dérivations. Quand on emploie, par exemple, des lampes de 100 volts, il faut calculer la dynamo pour qu'elle donne 110 volts entre les bornes. Dans une installation peu étendue, comme une maison, on admet entre la dynamo et la dernière lampe une perte de 5 0/0.

Pour calculer la perte en volts provenant des conducteurs, on emploie la formule de Ohm :

$$E = I\,R;$$

I représente l'intensité du courant, R la résistance du conducteur, E donne le nombre de volts absorbés par cette résistance.

Exemple. — On veut installer 50 lampes Edison de 100 volts et 0,7 amp. en dérivation sur un conducteur présentant une longueur totale, aller et retour, de 400 m. On admet dans ce conducteur une perte de tension égale à 6 p. 100.

Les lampes étant en dérivation, la dynamo devra fournir 35 ampères; la perte dans le conducteur est 6 volts.

La résistance du fil est $\frac{6}{35} = 0{,}17$ ohm;

Sa résistance par mètre est $\frac{0{,}17}{400} = 0{,}0004$ ohm.

La table ci-jointe nous montre que cette résistance correspond à un diamètre de 7 mm.

Le calcul, très simple dans le cas précédent, devient assez compliqué quand il s'agit d'un réseau, car on doit tenir compte des éléments suivants :

1° Nombre maximum d'ampères pouvant passer par le fil;

2° Nombre de volts sacrifiés pour la résistance du circuit;

3° Pour qu'il n'existe pas une trop grande différence

Digitized by Google

dans l'intensité lumineuse des lampes, il faut calculer les conducteurs de façon que la différence de tension entre les lampes les plus éloignées ne dépasse pas une certaine limite ; on admet ordinairement 3 p. 100.

On ne peut donc procéder que par tâtonnements, et le calcul est quelquefois assez long. Pour éviter ces difficultés, les constructeurs dressent généralement des tables qui permettent de simplifier beaucoup la question. Le tableau suivant, dont le plan a été emprunté à M. Von Gaisberg, a été établi dans ce but.

TABLE GÉNÉRALE
POUR LE CALCUL DES DIAMÈTRES DES FILS DE CUIVRE

DIAMÈTRE	SECTION	RÉSISTANCE par mètre	INTENSITÉ LIMITE 1 ampère par millim. carré	2 ampères par millim. carré	3 ampères par millim. carré	POIDS par mètre
1	2	3	4	5	6	7
mm.	mm².	ohms	amp.	amp.	amp.	grammes
0,5	0,20	0,0814	0,2	0,4	0,6	1,75
1,0	0,79	0,0203	0,8	1,6	2,4	6,99
1,5	1,77	0,00904	1,8	3,5	5,3	15,73
2,0	3,14	0,00508	3,1	6,3	9,4	27,96
2,5	4,91	0,00325	4,9	9,8	14,7	43,69
3,0	7,07	0,00226	7,1	14,1	21,2	62,92
3,5	9,62	0,00166	9,6	19,2	28,9	85,63
4,0	12,57	0,00127	12,6	25,1	37,7	111,84
4,5	15,90	0,00100	15,9	31,8	47,7	141,55
5,0	19,64	0,000814	19,6	39,3	58,9	174,75
5,5	23,76	0,000672	23,8	47,5	71,3	211,45
6,0	28,27	0,000565	28,3	56,5	84,8	251,64
6,5	33,18	0,000481	33,2	66,4	99,5	295,33
7,0	38,49	0,000415	38,5	77,0	115,5	342,51
7,5	44,18	0,000362	44,2	88,4	132,5	393,19
8,0	50,27	0,000318	50,3	100,5	150,8	447,36
8,5	56,75	0,000281	56,7	113,5	170,2	505 03
9,0	63,62	0,000251	63,6	127,2	190,8	566,19
9,5	70,88	0,000226	70,9	141,8	216,6	630,85
10,0	78,54	0,000203	78,5	157,1	235,6	699,00

Digitized by Google

Partant des intensités qu'on s'impose comme limites, 1, 2, 3 ampères par millimètre carré, on trouve dans les colonnes 4, 5, 6 les nombres d'ampères correspondants passant dans les fils de différents diamètres. Ces nombres ont été obtenus en multipliant les nombres limites 1, 2, 3 par les différentes sections des fils. On peut donc, connaissant le nombre d'ampères imposé comme devant passer par un conducteur, déterminer directement son diamètre; inversement, connaissant le diamètre d'un fil on trouvera le nombre d'ampères qu'on peut lui imposer sans dépasser

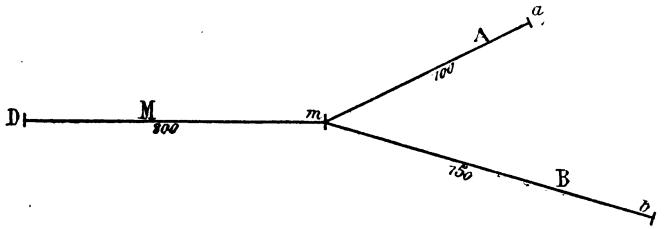


Fig. 125.

une limite déterminée.

La colonne 3 donne la résistance par mètre de chaque fil, et permet de calculer la résistance totale d'une canalisation.

La colonne 7 indique le poids par mètre des différents fils, et par suite, le poids de cuivre employé.

Les exemples suivants montrent comment on se sert de cette table.

1° *Exemple.* — On veut installer en dérivation 20 lampes Edison (0,7 amp., 100 volts) au bout d'un premier circuit A ayant 100 m. (aller et retour), et 30 lampes sur un second circuit B ayant 150 m.; ces deux circuits sont reliés à la dynamo D par une ligne M qui a 200 m. (fig. 125). On

Digitized by Google

s'impose la condition de ne pas dépasser 2 amp. par mm² de section.

L'intensité en A est $0,7 \times 20 = 14$ amp. Nous trouvons à la 5e colonne du tableau le chiffre 14,1 correspondant à un diamètre de 3 mm.

La résistance du conducteur est $0,00226 \times 100 = 0,226$ ohm; et la perte en volts R I est $0,226 \times 14 = 3,164$ volts.

L'intensité en B est $0,7 \times 30 = 21$ amp. Prenons dans la 5e colonne le chiffre 25,1 correspondant à un diamètre de 4 mm. La résistance est $0,00127 \times 150 = 0,19$ ohms; et la perte en volts $0,19 \times 21 = 3,99$ volts.

L'intensité en M est $14 + 21 = 35$ amp.; le tableau indique 39,3 correspondant à un diamètre de 5 mm. La résistance est $0,000814 \times 200 = 0,16$ ohm; et la perte en volts est 0, $16 \times 35 = 5,60$ volts.

La perte en volts depuis la dynamo jusqu'à l'extrémité de B, qui est la ligne la plus chargée, est donc $3,99 + 5,60 = 9,59$ volts.

Cette perte inférieure à 10 0/0 peut être admise. Nous n'avons pas tenu compte de la perte subie dans les fils particuliers des lampes, auxquels on donne ordinairement 1 à 1,5 mm. de diamètre. La dynamo devra donc fournir 109,59 volts à ses bornes. Si cette tension est trop forte pour la machine, il n'y a qu'à augmenter un peu le diamètre des fils, surtout dans la partie M qui reçoit le courant le plus intense.

La tension en D est 109,59; en *m* 103,99; en *a* 100,82; en *b* 100. Entre *a* et *b* la différence n'est donc que de 0,82 volt; elle ne peut influencer la marche des lampes.

Le poids de cuivre employé est $62,92 \times 100 + 111,84 \times 150 + 174,75 \times 200$, soit 58 kg.

— En admettant les mêmes données, le problème peut être posé autrement; on s'impose, par exemple, de ne pas perdre plus de 6 volts dans la canalisation.

Digitized by Google

Supposons 4 volts perdus en M, et 2 en B. L'intensité en B est 21 amp. ; on a $R = \frac{2}{21} = 0{,}095$; la résistance par mètre est $\frac{0{,}095}{150} = 0{,}00064$ ohm, ce qui correspond à un diamètre de 5,5 mm. La colonne 4 nous montre que dans ce fil il passe moins de 1 amp. par mm².

L'intensité en M est 35 amp. ; $R = \frac{4}{35} = 0{,}12$; la résistance par mètre est $\frac{0{,}12}{200} = 0{,}00066$ ohm, ce qui correspond à un diamètre de 5,5 mm. ; la colonne 5 nous montre que dans ce fil il passe moins de 2 amp. par mm².

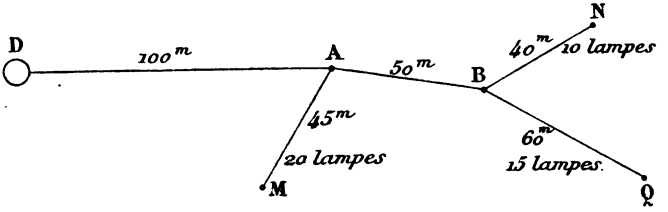


Fig. 126.

Admettons pour A la même perte de 2 volts, l'intensité est 14 amp. ; $R = \frac{2}{14} = 0{,}14$; la résistance par mètre est $\frac{0{,}14}{100} = 0{,}0014$, ce qui correspond à un diamètre de 3,5 mm. ; le courant est inférieur à 2 amp. par mm². On peut donc admettre ces dimensions.

D'après les données du problème, la tension est la même aux extrémités des 2 lignes.

2° *Exemple. Cas général.* — La dynamo étant installée en D (fig. 126) ; au point A distant de 100 m. (aller et retour) se trouve une première dérivation A M, de 45 m. alimentant 20 lampes à incandescence ; au point B, situé à 50 m. de

Digitized by Google

A. sont 2 dérivations : B N ayant 40 m. de longueur et alimentant 10 lampes ; BQ, 60 m. avec 15 lampes. Toutes les lampes exigent 0, 7 amp. et 100 volts. Adoptons 2 amp. par mm² comme limite.

Pour le calcul des conducteurs, opérons comme précédemment.

Les intensités sont :

en BN	$10 \times 0{,}7 = 7$	amp.
BQ	$15 \times 0{,}7 = 10{,}5$	—
AM	$20 \times 0{,}7 = 14$	—
en AB	17,5	amp.
AD	31,5	—

Le tableau nous indique les diamètres suivants :

pour BN	2	mm.
— BQ	2,5	—
— AM	3	—
— AB	3,5	—
— AD	4,5	—

Les poids des conducteurs sont :

BN	$27{,}96 \times 40 =$	1118 gr.
BQ	$43{,}69 \times 60 =$	2622 —
AM	$62{,}92 \times 45 =$	2831 —
AB	$85{,}63 \times 50 =$	4281 —
AD	$141{,}55 \times 100 =$	14155 —
Total		25007 gr.

Les résistances sont :

pour BN	$0{,}00508 \times 40 = 0{,}203$	ohms.
— BQ	$0{,}00325 \times 60 = 0{,}195$	—
— AM	$0{,}00226 \times 45 = 0{,}102$	—
— AB	$0{,}00166 \times 50 = 0{,}083$	—
— AD	$0{,}00100 \times 100 = 0{,}010$	—

Et les pertes en volts RI sont :

pour BN	$0{,}203 \times 7 = 1{,}421$	volts
— BQ	$0{,}195 \times 10{,}5 = 2{,}048$	—
— AM	$0{,}102 \times 14 = 1{,}428$	—
— AB	$0{,}083 \times 17{,}5 = 1{,}453$	—
— AD	$0{,}010 \times 31{,}5 = 0{,}315$	—

Digitized by Google

Les pertes de charge sont :

Sur la ligne	DABN.....	3,189 volts.
—	DABQ.....	3,816 —
—	DAM.....	1,743 —

La ligne la plus chargée D A B Q donne une perte de 3,816 volts. Si donc nous avons en D une tension de 103,816 volts, nous pourrons alimenter tous les branchements.

La tension en D étant 103,816 volts, elle est :

En Q.....	103,816 — 3,816 = 100	volts.
N.....	103,816 — 3,189 = 100,627	—
M.....	103,816 — 1,743 = 102,073	—

La plus grande différence de tension est celle qui existe entre Q et M, elle est de 2,073 volts ; cette différence est un peu trop forte pour qu'on ait une marche uniforme des lampes. Si on admet 1 volt comme différence limite, on aura en M un excès de 1,073 volts. Pour compenser cette différence, en peut augmenter un peu les diamètres de AB et de BQ, de façon à diminuer dans ces branchements la perte de charge.

Un autre procédé consiste à introduire un rhéostat à l'origine de la ligne AM ; en opérant ainsi, on perd nécessairement une certaine quantité d'énergie. Voici comment on fait le calcul.

§ **141. Calcul d'un rhéostat.** — Supposons que dans le conducteur AM on veuille produire une chute de 1,073 volt ; l'intensité dans ce fil est 14 amp. La résistance du rhéostat sera donnée par

$$R = \frac{1,073}{14} = 0,076 \text{ ohm.}$$

Si l'on emploie le ferro-nickel, sa résistance spécifique

Digitized by Google

est (Tableau 8, appendice) 78,3 microhms, soit 0,0000783 ohm. Supposons qu'on adopte un fil de 2 mm. de diamètre; sa longueur x, en appliquant la formule (a) § 4, sera donnée par

$$0{,}076 = 0{,}0000783 \frac{x}{\frac{\pi\, 0{,}2^2}{4}}.$$

$$x = 30 \text{ cm.}$$

Le tableau 10 (appendice), donnant la résistance des fils de ferro-nickel, permet de simplifier le calcul. En effet, la résistance de 1 m. de fil ayant 2 mm. de diamètre est 0,249 ohm.

La longueur cherchée est donc donnée par

$$\frac{0.076}{0{,}249} = 0{,}3 \text{ m.}$$

§ **142. Calcul de la résistance d'un conducteur.** — Le tableau ci-dessus nous permet de calculer facilement la résistance d'un conducteur de cuivre ayant une longueur l et un diamètre d.

En effet, la colonne 3 nous donne 0,0203 ohm pour la résistance d'un fil ayant 1 mm. de diamètre et 1 m. de long. Donc pour le conducteur en question la résistance est :

$$\frac{0{,}0203}{d^2} \times l \text{ ohms.}$$

§ **143. Calcul de la puissance motrice.** — La puissance dépensée soit par les lampes, soit par la canalisation, se calcule d'après la formule

$$P = \frac{E\,I}{g} \text{ kilogrammètres.}$$

Reprenons le premier exemple ci-dessus.

Digitized by Google

La dynamo doit fournir 109,6 volts à ses bornes, et l'intensité totale est 35 ampères.

$$\text{donc } P = \frac{35 \times 109{,}6}{g} = 384 \text{ kgm.}$$

$$\frac{384}{75} = 5{,}1 \text{ chevaux.}$$

En admettant que la dynamo rende 90 p. 100, la puissance motrice nécessaire sera

$$\frac{5{,}1}{0{,}9} = 5{,}6 \text{ chevaux.}$$

§ **144. Prix de revient de l'éclairage électrique.** — 1° *Dépense de premier établissement.* — Cette dépense comprend le moteur à vapeur, la dynamo, la canalisation, les lampes et les appareils accessoires, commutateurs, appareils de mesure, etc. Pour le moteur à vapeur, on peut admettre comme une moyenne les prix suivants :

Prix d'une machine à vapeur à condensation, avec chaudière et mise en place :

5	chevaux	6 000 fr.
10	—	8 000
20	—	14 000
50	—	25 000
75	—	35 000
100	—	40 000

Pour les dynamos à grande vitesse, qui sont généralement employées dans les petites installations, le prix d'achat peut être déterminé en moyenne par la règle suivante :

0,50 fr.	par watt pour le modèle de		1 000 watts
0,25	—	—	5 000 —
0,17	—	—	15 000 —

A ce prix de la dynamo, il faut ajouter environ 10 0/0 pour l'installation et la commande.

Digitized by Google

Nous avons vu précédemment comment on déterminait la section des conducteurs. Le prix des lampes et des appareils accessoires ne peut être déterminé que par un devis détaillé.

Pour ces dépenses de premier établissement, on adoptera un amortissement annuel de 10 0/0, auquel on ajoutera 5 0/0 pour l'intérêt annuel.

2° *Dépenses d'entretien.* — Une bonne machine à vapeur à condensation dépense en moyenne 1, 3 kg. de charbon par cheval-heure mesuré sur le piston. En admettant un rendement de 0,75, la dépense par cheval-heure sur l'arbre est 1,75 kg. En comptant 30 fr. les 1 000 kg. de charbon, le cheval-heure coûte 0,053 fr. Le graissage et les frais divers étant évalués à 0,017 fr., le prix du cheval-heure est 0,070 fr.

La dépense en main-d'œuvre, entretien des lampes, peut être calculée à 5 0/0 du capital engagé, pour l'éclairage à arc et celui à incandescence.

Les lampes à incandescence de 8 à 20 bougies coûtent 3 fr. et durent 1 000 heures; leur prix de revient par heure est donc 0,003 fr.

Les crayons pour lampe à arc se vendent 1,20 fr. le mètre; l'usure est de 80 mm. par heure pour les deux crayons, soit une dépense par heure de 0,10 fr.

Exemple. — Reprenons l'exemple ci-dessus. La puissance motrice nécessaire est 5,6 chev.

Prix de la machine à vapeur.....	6 700 fr.
Prix de la dynamo.....	1 200 fr.
Le poids du conducteur est 58 kg. qui, au prix de 3 fr., représentent.....	174 »
Admettons pour les appareils accessoires et les conducteurs des lampes.....	300 »
50 lampes à 3 fr..	150 »
Imprévu.....	176 »
Total des dépenses de premier établissement...	8 700 »

Digitized by Google

Supposons que l'éclairage fonctionne 5 heures par jour pendant 300 jours, les frais d'entretien sont :

Charbon et graissage $0,07 \times 5,6 \times 1500$	588 fr.
Renouvellement des lampes $0,003 \times 50 \times 1500$	225 »
Main d'œuvre $8700 \times 0,05$	435 »
Amortissement $8700 \times 0,15$	1 305 »
Imprévu	197 »
Total	2 750 »

Le prix de revient de la lampe-heure est donc

$$\frac{2\ 750}{1\ 500 \times 50} = 0,037 \text{ fr.}$$

Nous n'avons cité cet exemple que pour indiquer la marche à suivre dans un calcul de cette nature. Les chiffres varient nécessairement avec les prix des appareils, qui sont essentiellement variables, et avec les conditions d'installation et l'importance de l'exploitation. Aussi le prix de revient obtenu ci-dessus ne peut pas être pris pour base dans un devis.

APPAREILS ACCESSOIRES D'UNE DISTRIBUTION ÉLECTRIQUE

La distribution de l'électricité à travers une canalisation exige certains appareils accessoires destinés à assurer la régularité de l'éclairage et à prévenir tout danger.

§ **145. Voltmètres, Ampèremètres. Compteurs d'électricité.** — Pour constater l'intensité du courant, on se sert de l'ampèremètre. Cet appareil doit être installé directement sur les circuits dont on désire connaître l'intensité.

Lorsque les lampes sont disposées toutes en série, on place l'ampèremètre sur l'un des conducteurs. Si les lampes sont toutes en dérivation, on le met sur l'un des conducteurs

Digitized by Google

principaux. Enfin, quand on a plusieurs séries de lampes disposées en dérivation, on place un ampèremètre sur chacune de ces dérivations.

La borne + de l'appareil doit s'attacher au fil venant du pôle + de la dynamo, et la borne — au pôle —. L'ampèremètre se place dans la chambre des machines, mais à une assez grande distance de la dynamo, pour ne pas subir son influence. Pour la même raison, on l'éloigne autant

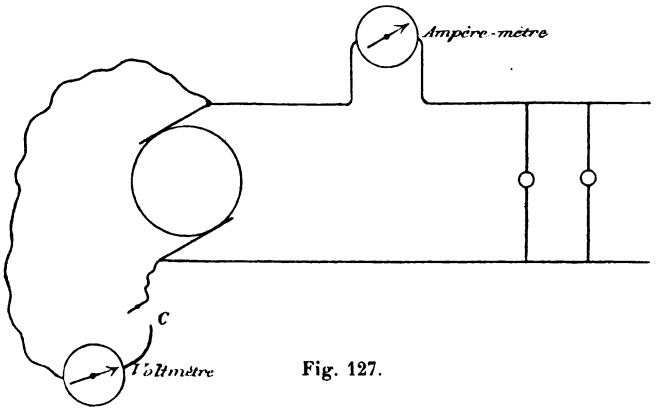


Fig. 127.

que possible des conducteurs à haute intensité qui pourraient se trouver dans le voisinage.

Pour reconnaître les différences de potentiel, on fait usage du voltmètre, que l'on place toujours en dérivation entre les bornes dont on cherche la différence de potentiel. Il ne faut pas que la dérivation soit fermée d'une manière absolue; le courant ne doit pas traverser constamment l'appareil, et on ne le met en circuit qu'au moment voulu par un commutateur *c* (fig. 127).

Pour le montage de cet appareil on suit les mêmes prescriptions que pour l'ampèremètre. On ajoute parfois

Digitized by Google

au voltmètre un appareil indicateur destiné à avertir des moments où la tension devient trop forte ou trop faible. Aux extrémités de la course de l'aiguille du voltmètre sont placées 2 butées communiquant avec 2 lampes diversement colorées. L'aiguille ferme le circuit sur l'une ou l'autre de ces lampes, suivant les variations de la tension. On dispose quelquefois sur le circuit une sonnerie qui se met en mouvement quand une des lampes s'allume.

De même que l'ampèremètre, le compteur d'électricité se place directement sur le courant principal, ou sur le circuit dont on cherche le rendement.

§ **146. Régulateur de courant.** — Le courant produit par la dynamo doit varier avec le travail nécessaire dans le circuit extérieur. Nous avons vu, en étudiant les différents systèmes d'excitation des machines, que l'enroulement compound permettait d'obtenir ce résultat d'une manière automatique. Avec les autres enroulements, il faut modifier la production de la dynamo suivant le nombre de lampes en service.

On pourrait croire, au premier abord, qu'il suffit pour cela de faire varier la vitesse de rotation. Mais cette opération est fort difficile dans la pratique; elle est même impossible quand la force est prise sur un moteur général, ce qui se présente dans beaucoup d'usines. Aussi se sert-on, pour arriver à ce but, d'une série de résistances auxiliaires, qu'on introduit dans le circuit ou qu'on enlève suivant les besoins.

L'appareil est formé en principe d'une série de spirales en maillechort constituant des groupes séparés, mais reliées entre elles, comme l'indique la figure 128, par des bandes de cuivre. Chaque bande est attachée à un plot *a*, *b*, *c* d'un commutateur à manette. Le pivot de celui-ci communique avec un bout du fil de ligne arrivant en M. L'autre bout s'attache en *a*. On voit qu'en déplaçant la

Digitized by Google

manette on peut mettre en communication les 2 extrémités du fil de ligne, sans y interposer de résistance; ou bien intercaler un nombre de spires voulu, c'est-à-dire une résistance déterminée.

Pour le montage du régulateur, il peut se présenter 3 cas, suivant que la dynamo est excitée en série, en déri-

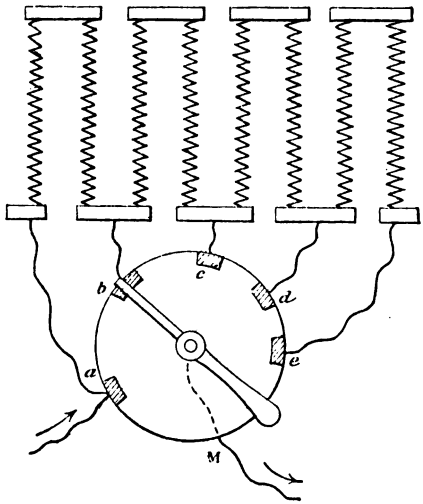


Fig. 128.

vation, ou par une machine indépendante. Dans le premier cas, les résistances se placent sur le circuit principal, pour compenser les variations de résistance provenant de l'allumage ou de l'extinction des lampes. Avec l'excitation en dérivation ou l'excitation indépendante, les résistances sont intercalées sur le circuit dérivé ou sur le circuit excitateur, afin de faire varier l'intensité du champ magnétique et de ramener la force électromotrice à sa valeur normale.

La disposition suivante est adoptée par la Société Edison.

Digitized by Google

Des bobines en fil de maillechort sont disposées parallèlement à côté l'une de l'autre, et leurs extrémités aboutissent à une série de segments métalliques, comme dans la fig. 128. La première bobine est reliée à l'une des bornes de l'appareil; l'autre borne communique à un curseur qu'on peut faire mouvoir avec une vis sans fin munie d'une manivelle. Suivant la place qu'il occupe, le curseur vient en contact avec un segment plus ou moins éloigné, c'est-à-dire qu'il introduit telle ou telle résistance dans le circuit.

Quand plusieurs dynamos sont destinées à être accouplées ensemble, leurs régulateurs sont disposés de façon à pouvoir être manœuvrés isolément, et à être commandés, si on le veut, tous par un même arbre, de façon à opérer le même réglage sur toutes les machines à la fois. On commence par régler chaque machine isolément avec son régulateur spécial, et quand l'équilibre est établi entre toutes les dynamos, on les commande toutes ensemble par le régulateur général. Nous verrons quelques exemples de ce mode de régulation dans les stations centrales.

§ **147. Régulateurs automatiques.** — Il existe diverses dispositions permettant le réglage automatique du courant. L'appareil suivant a été imaginé par M. Blathy pour régler le courant excitateur d'une dynamo. Le courant excitateur traverse un solénoïde. Celui-ci actionne un noyau en fer doux qui est adapté à l'un des bouts d'un levier équilibré par un flotteur.

Le noyau de fer porte à son extrémité supérieure un godet de mercure dans lequel peuvent plonger les extrémités de divers fils reliés à des résistances. Ces extrémités sont placées à différentes profondeurs; de sorte que, suivant l'attraction exercée sur le noyau de fer, telle ou telle résistance se trouve introduite dans le circuit, et le réglage s'opère d'une façon automatique.

Digitized by Google

Le régulateur Houghton (fig. 129), destiné à régulariser la différence de potentiel aux bornes d'une dynamo, se compose d'un solénoïde A à fil fin monté en dérivation sur les bornes de la machine. L'armature en fer doux B porte à son extrémité inférieure un cylindre C en ébonite qui plonge dans du mercure. Des résistances E sont placées à différents niveaux. Suivant la tension, l'armature B est plus ou moins attirée; le mercure s'abaisse donc ou s'élève, et la résistance introduite dans le circuit excitateur de la dynamo varie en conséquence. La différence de potentiel aux bornes se trouve ainsi régularisée automatiquement. Un ressort à boudin permet le réglage de l'appareil.

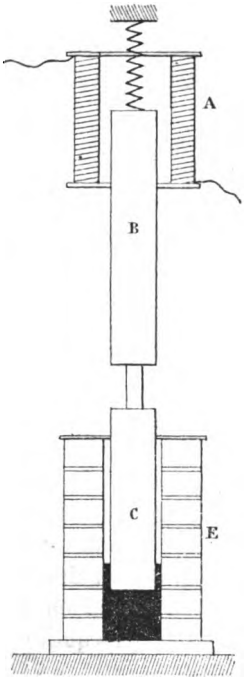


Fig. 129.

§ 148. Résistances. — Nous avons vu, en parlant du montage des foyers électriques, que sur le circuit des lampes à arc on dispose des résistances pour remplacer les lampes mises hors circuit. Voici comment on peut résoudre la question. Si l'on veut, par exemple, mettre hors circuit les trois lampes *a*, *b*, *c* (fig. 130), et leur substituer la résistance R, on coupe le circuit en *x*; les deux bouts du fil sont rattachés l'un à la borne *p*, l'autre à l'axe de rotation de l'interrupteur *f*. En arrière de la lampe *c* on attache un fil venant se relier à l'extrémité *r* de la résistance R, dont l'autre bout s'attache à la borne *m*. Quand les trois lampes *a*, *b*, *c*, fonctionnent, l'interrupteur est mis

Digitized by Google

en contact avec *p*. Lorsque l'on met les lampes hors circuit, on amène l'interrupteur en contact avec *m* ; le circuit est ouvert en *p*, et le courant traverse la résistance R.

Ces résistances se font avec des fils de maillechort ou de ferro-nickel. Ce dernier métal ayant une résistance spécifique plus élevée permet d'employer des fils moins longs.

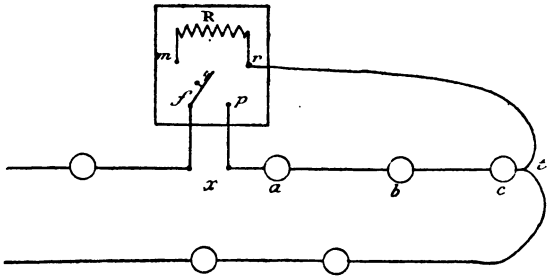


Fig. 130.

Calcul d'un rhéostat. — Exemple. — Supposons qu'on veuille remplacer par une résistance en fil de ferro-nickel une lampe exigeant 43 volts et 5 ampères, quels seront le diamètre et la longueur du fil?

La résistance R est donnée par

$$R = \frac{43}{5} = 8{,}6 \text{ ohms.}$$

Connaissant cette résistance, on opère ensuite comme nous l'avons indiqué § 141.

§ 149. Indicateur de marche du courant. — Quand on veut suivre dans la chambre des machines le fonctionnement des différentes lampes, on se sert d'un appareil nommé *indicateur de marche*. Voici comme exemple celui de M. Cance. Cet appareil se compose d'un électro-aimant A

Digitized by Google

traversé par le courant. En face du pôle P est un pendule mobile autour du point O, et terminé en bas par 2 petits cylindres de même poids ; l'un d'eux C est en fer doux, l'autre D est fait d'une substance non magnétique, de cuivre, par exemple. Sous l'action du courant, le noyau B s'aimante, et le pôle P attire le cylindre C, en faisant prendre au pendule la position inclinée de la figure. Quand le courant ne passe pas, le pendule revient à la verticale. On peut donc suivre le fonctionnement du courant.

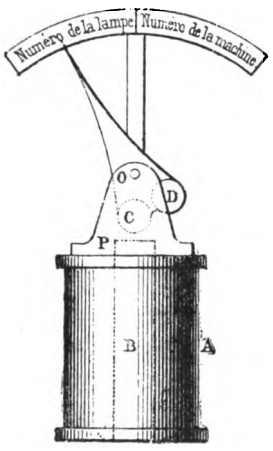


Fig. 131.

§ **150. Parafoudres.** — Quand une canalisation électrique est placée à l'extérieur des bâtiments, il est indispensable de la protéger contre les effets de la foudre, qui pourrait détruire les conducteurs et les appareils. Les parafoudres ont pour but de créer un écoulement à l'électricité atmosphérique en l'entraînant vers la terre.

Ces appareils sont basés sur le fait suivant : L'électricité provenant d'un coup de foudre possède une tension très élevée ; elle peut donc franchir facilement un obstacle, tel qu'une très faible solution de continuité dans un conducteur ; tandis que le courant produit par une dynamo s'y trouverait arrêté. Cela étant, le conducteur de la dynamo se trouvant en P D (fig. 132), on établit une dérivation T allant à la terre. Ce fil est interrompu en un point *i* de son parcours sur une faible épaisseur. Une décharge atmosphérique trouvera issue en ce point, tandis que le courant de la dynamo restera dans le conducteur P D.

Digitized by Google

Plusieurs dispositifs ont été imaginés dans ce but. Dans le parafoudre à pointes, deux plaques sont placées en regard en *i*, l'une reliée au conducteur PD, l'autre au fil de terre T; et ces deux plaques sont pourvues de pointes disposées en face les unes des autres, sans se toucher.

Dans le parafoudre à lame isolante, les 2 plaques sont séparées par une lame non conductrice très mince.

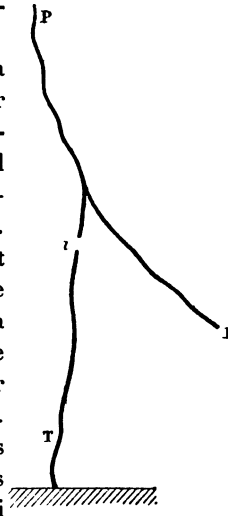


Fig. 132.

La dérivation T se rendant à la terre ne doit pas s'embrancher sur le conducteur d'un paratonnerre établi pour la protection de l'édifice; il faut même, pour éviter tout accident, qu'elle en soit assez éloignée. Elle est faite d'un fil de cuivre ayant 4 mm. de diamètre, ou d'une corde formée de 2 ou 3 fils de 2 mm. On la relie par une forte soudure à la plaque de terre. Celle-ci est constituée par une lame de fer galvanisé ayant 5 mm. d'épaisseur et une surface d'au moins un mètre carré. On l'enfouit dans le sol en un endroit humide, et, si cela est possible, dans une nappe d'eau courante ou un puits. On la place dans une position verticale plutôt qu'horizontale.

Quand le conducteur n'entre pas en terre au pied même de l'édifice, il faut le disposer de façon qu'il soit bien visible jusqu'au point où il pénètre dans le sol. Il est nécessaire qu'il soit visité très souvent, surtout après les orages.

§ 151. Parafoudre automatique. — Pour qu'une dynamo se trouve suffisamment protégée contre les décharges atmosphériques, il faut que chacun de ses conducteurs

Digitized by Google

extérieurs soit muni d'un paraſoudre. Mais il y a là un danger avec les instruments adoptés ordinairement. En effet, les pointes de chacun de ces appareils pouvant être fondues par une décharge et réunies, il s'établirait ainsi un

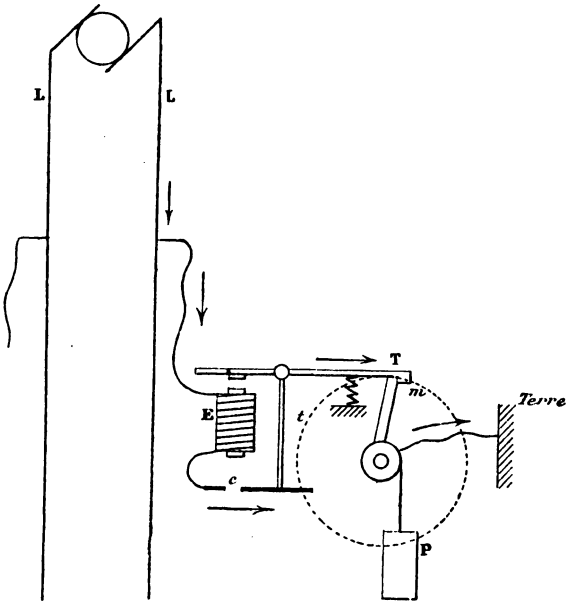


Fig. 133.

court-circuit mettant les 2 pôles de la dynamo en communication avec la terre. La disposition suivante, adoptée par *Central Electric Company* de Chicago, a pour but d'empêcher un pareil accident (fig. 133).

Une décharge atmosphérique se produisant, par exemple, sur la ligne L, l'électricité suit la direction des flèches; elle passe par l'électro-aimant E, elle traverse 2 pointes de charbon placées en *c*; puis, par le levier T, le bras *m*,

Digitized by Google

elle arrive à la terre. En même temps, l'armature T est attirée; une pointe de charbon portée par le bras *t* se trouve éloignée de l'autre par suite du mouvement de l'armature. Les 2 charbons ne peuvent donc entrer en fusion et se réunir entre eux. L'inconvénient signalé plus haut est ainsi évité.

Mais l'armature T, en s'approchant de l'électro-aimant, dégage son extrémité de droite qui était maintenue en prise avec le bras *m* par l'effet du poids P. Le circuit est donc rompu. L'électro-aimant se désaimante. Le levier T est ramené à sa position primitive par un ressort *r*, et il arrête de nouveau le bras *m* qui, après avoir fait un tour complet autour de son axe, vient se remettre en prise. Ainsi le parafoudre est replacé automatiquement dans sa position primitive, et il est prêt à fonctionner s'il survient un nouveau coup de foudre. La ligne L' est munie d'un appareil semblable qui n'est pas indiqué sur la figure.

§ **152. Coupe-circuits de sûreté.** — Les diamètres des conducteurs, comme on l'a vu précédemment, sont calculés d'après l'intensité du courant qui doit les traverser. Mais si cette intensité se trouve dépassée par accident, les conducteurs s'échauffent et peuvent occasionner des incendies. Pour l'éviter, on place sur le circuit des fils de plomb ou d'un alliage fusible, qui fondent quand le courant devient trop fort et interrompent ainsi le circuit. Il faut déterminer le diamètre de ces fils de façon que leur fusion ait lieu avant que le cuivre soit trop chauffé. Ce diamètre dépend donc de celui du conducteur. Voici, à cet égard, quelques renseignements :

Pour les fils de plomb de petit diamètre, jusqu'à un millimètre, on compte comme intensité limite 8 amp. par millimètre carré; pour les fils de plus grand diamètre, cette limite est de 5 à 6 amp. Les chiffres suivants établissent le

Digitized by Google

rapport entre les diamètres des fils de cuivre et les diamètres des fils de plomb qu'on peut employer comme coupe-circuits.

Diamètre du fil de cuivre.		Diamètre du fil de plomb.
1 millimètre.		0,8 millimètre.
2 —		1,5 —
3 —		2,0 —
4 —		3,0 —
5 —	deux fils de	3,0 —

On place un coupe-circuit à l'origine du conducteur principal *o* (fig. 134), et l'on en dispose un, *p*, *q* à la naissance de chaque branchement qu'on veut préserver. Il est important de disposer ces appareils tous sur le circuit positif ou tous sur le circuit négatif. Car si un court-circuit vient à s'établir accidentellement dans la canalisation, par exemple en *m n*, le courant traverse toujours un appareil de sûreté en se rendant du conducteur A dans B, ce qui pourrait ne pas arriver si ces appareils étaient placés tantôt sur le circuit positif, tantôt sur le négatif.

Les coupe-circuits ne doivent pas être placés dans des endroits humides. Il faut éviter également les locaux sujets à l'incendie ou susceptibles de renfermer des gaz explosibles.

Pour voir si un appareil de sûreté fonctionne convenablement, on produit un court-circuit dans l'embranchement où il est placé, et on regarde si le fil fusible se fond avant que le cuivre s'échauffe d'une façon anormale.

Quand un coupe-circuit s'est fondu sur un embranchement important, on doit veiller avec soin sur la machine ; car la fusion du fil mettant hors circuit une grande quantité de lampes, il peut se produire un dérangement dans l'allure de la dynamo.

Lorsqu'un fil de sûreté vient à fondre, on se trouve

Digitized by Google

averti immédiatement de la portion de la canalisation où existe un défaut. Le vice provient soit du conducteur, soit du coupe-circuit lui-même, qui est trop faible ou mal installé. Si l'on ne trouve rien d'anormal dans le conducteur, on n'a qu'à remplacer l'appareil de sûreté par un autre d'un numéro convenable et voir comment il se comporte. S'il résiste, c'est que le défaut se trouve dans la canalisation.

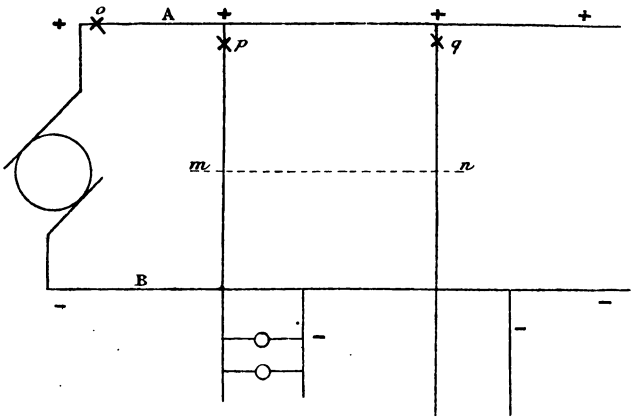


Fig. 134.

Il est nécessaire que le remplacement des appareils de sûreté puisse se faire rapidement et sans main-d'œuvre. Il existe beaucoup de modèles de ces appareils. Ceux de M. Grivolas, par exemple, se composent de barrettes qui supportent le fil de plomb et qu'on loge entre 2 fortes pinces en cuivre communiquant avec les bouts du conducteur. Ils sont d'un usage très commode. On a toujours quelques-uns de ces appareils de rechange, et on les met en place quand un coupe-circuit a été fondu. Ils portent l'indication du nombre d'ampères pour lequel ils ont été construits.

Digitized by Google

§ 153. **Indicateur d'isolement à la terre.** — Il est important de pouvoir vérifier continuellement si une installation électrique est bien isolée par rapport à la terre et d'être averti immédiatement d'un accident. L'appareil indiqué par la figure 135 résout le problème d'une façon simple.

Sur les 2 conducteurs principaux A, B, on attache en

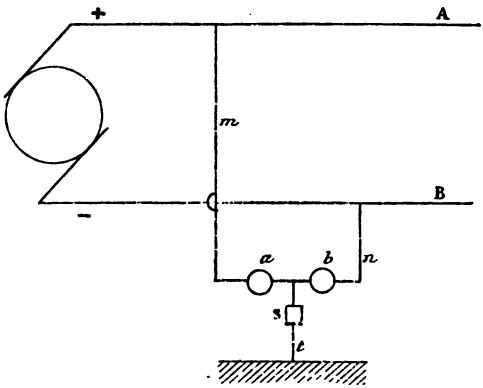


Fig. 135.

dérivation un fil *m n*, sur lequel on installe 2 lampes à incandescence *a*, *b*, exigeant le même nombre de volts; le milieu est relié à la terre par un fil *t*.

Si les conducteurs A et B ne touchent pas la terre, les 2 lampes brûlent peu, mais avec le même éclat. Si B a un contact avec la terre, la lampe *b* éclaire moins que *a* ou s'éteint; *a* fait de même si le contact se trouve sur le conducteur A.

Quand A et B touchent tous les deux la terre, les 2 lampes éclairent peu, mais donnent la même lumière. Pour savoir à quoi s'en tenir, on met alors une lampe hors circuit au moyen d'un commutateur; si la seconde lampe s'éteint,

Digitized by Google

c'est que le conducteur est en bon état; si elle continue à brûler, c'est qu'il existe un défaut.

Pour compléter l'appareil, on place une sonnerie S sur le fil *t*; elle se met en mouvement quand ce fil est parcouru par un courant, c'est-à-dire lorsqu'un contact avec la terre se produit sur un conducteur.

Indicateurs de terre pour courants alternatifs. — Pour les courants alternatifs, il peut y avoir inconvénient à mettre le circuit en communication constante avec la terre; aussi quand on emploie l'appareil décrit ci-dessus, on place sur le fil de terre un interrupteur, et l'on n'établit la communication qu'au moment où l'on fait l'expérience.

M. Picou a imaginé un procédé donnant des indications continues et basé sur l'emploi du *condensateur*. Rappelons en quelques mots le mode de fonctionnement de cet appareil. Il se compose de feuilles d'étain très minces placées les unes sur les autres avec interposition d'une matière isolante, gutta-percha, mica, papier paraffiné. Les feuilles d'étain sont réunies de deux en deux, c'est-à-dire que celles de rang pair communiquent toutes entre elles; il en est de même pour les feuilles de rang impair.

On constitue ainsi deux armatures analogues à celles de la bouteille de Leyde, et le verre de celle-ci est remplacé par la matière isolante. On réduit de cette façon le volume du condensateur tout en lui donnant une grande capacité.

Si l'on met chaque armature en communication avec le pôle d'une pile, un courant se produit et chacune d'elles prend le potentiel du pôle auquel elle est attachée; c'est la période de *charge*. Si l'on supprime la pile, et qu'on réunisse ensemble les deux armatures, comme elles ont entre elles une différence de potentiel, qui est égale à celle des pôles de la pile, un courant en sens inverse du premier se produit; c'est la période de *décharge*. Ce courant, comme celui de charge, dure très peu de temps.

Digitized by Google

M. Picou emploie 2 condensateurs C, C' (fig. 136); chaque armature semblable est reliée à un des fils de la ligne. Les deux autres sont réunies entre elles par un conducteur commun *m n*, qui est relié à la terre par un fil T dans le circuit duquel est installé un téléphone *t*. Tant que l'équilibre existe, le fil *m n* est parcouru par un courant alternatif, mais le fil T ne reçoit rien.

Mais si une terre se forme dans le circuit, des courants se produisent dans ce fil et ils actionnent le téléphone. On peut disposer celui-ci de manière à renforcer les sons, pour qu'ils soient entendus dans toute la salle des machines.

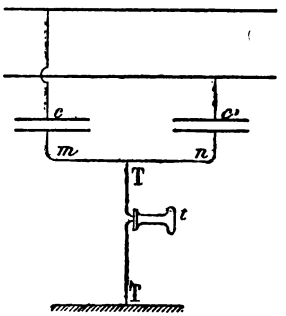


Fig. 136.

§ **154. Interrupteurs.** — Les interrupteurs servent à établir ou à interrompre le courant dans un circuit. Il existe une quantité de dispositifs plus ou moins différents les uns des autres. Nous ne les décrirons pas en détail. Nous nous bornerons à en rappeler le principe.

Dans l'interrupteur *à cheville*, chaque extrémité de la ligne aboutit à un bloc métallique. Les 2 blocs sont séparés, et, pour établir la communication, on enfonce entre eux une cheville qui les réunit.

Dans l'interrupteur *à écrou*, la communication est établie par le serrage d'un écrou.

Dans celui *à manette*, on fait l'ouverture ou la fermeture en manœuvrant à droite ou à gauche une manivelle.

La construction de ces appareils exige beaucoup de précautions. Il faut que les surfaces de contact soient toujours

Digitized by Google

en parfait état, et, dans ce but, on doit éviter les étincelles qui se forment toujours à la fermeture et surtout à la rupture d'un circuit. Les positions d'ouverture et de fermeture doivent être parfaitement déterminées, de façon que l'opérateur puisse faire la manœuvre rapidement et sans hésitation. La dimension des pièces est déterminée d'après l'intensité du courant qui les traverse, pour éviter tout échauffement. Les boutons ou manettes sont toujours faits en matière isolante, telles que la porcelaine et l'ébonite. Pour les courants à haute tension, il faut que l'opérateur soit mis à l'abri de tout danger, et que la manœuvre, surtout d'interruption, se fasse très rapidement.

La façon d'installer ces appareils a une grande importance. Les placer à portée de la main et bien en vue, pour qu'on puisse vérifier l'état des contacts. Éviter les endroits humides. Si l'on est forcé de les établir dans un local de cette espèce, interposer entre le mur et l'appareil un corps isolant. En plein air, placer l'appareil dans une boîte en tôle, et disposer l'entrée et la sortie du conducteur de façon à ce que l'eau qui s'accumule à sa surface ne puisse pas pénétrer dans l'appareil en suivant le fil. Éviter les locaux contenant des matières très combustibles ou des gaz explosifs. En ce cas, on place les appareils dans un local voisin ou dans la salle des machines avec un conducteur spécial.

§ **155. Commutateurs.** — Ces appareils sont destinés à changer la direction d'un courant. Ils sont construits sur le même principe que les interrupteurs et exigent les mêmes précautions. Les modèles sont très nombreux.

La disposition indiquée par la fig. 137 permet, quand on a, par exemple, 3 machines et 4 circuits, de relier l'une des machines avec l'un quelconque des circuits. L'appareil comporte 2 rangées de lames de laiton croisées à angle

Digitized by Google

droit et isolées entre elles. Aux points de jonction sont percés des trous où l'on peut enfoncer des chevilles métalliques. Les lames horizontales communiquant avec les machines, et les lames verticales avec les circuits, on voit qu'en enfonçant une cheville dans un trou, on établit à volonté la communication entre l'un des circuits et l'une des machines.

§ **156. Tableaux de distribution.** — Les appareils énoncés ci-dessus se placent, autant que possible, dans la chambre

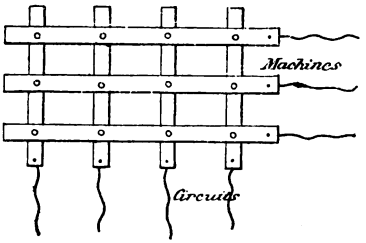


Fig. 137.

des machines. On les dispose sur un panneau en bois ou en ardoise, auquel aboutissent les conducteurs des dynamos et les circuits des lampes. C'est sur ce tableau que l'on opère la fermeture et l'ouverture des circuits pour allumer et éteindre les lampes. En outre, quand l'installation comporte plusieurs dynamos, ce tableau est disposé de façon que l'on puisse envoyer dans n'importe quel circuit le courant de telle ou telle dynamo, en cas de suspension d'une partie de l'éclairage ou d'accident de l'une des machines.

Le tableau représenté figure 138 est celui de l'installation de la Banque de France, à Paris, qui comprend 3 dynamos et 6 circuits de lampes.

Digitized by Google

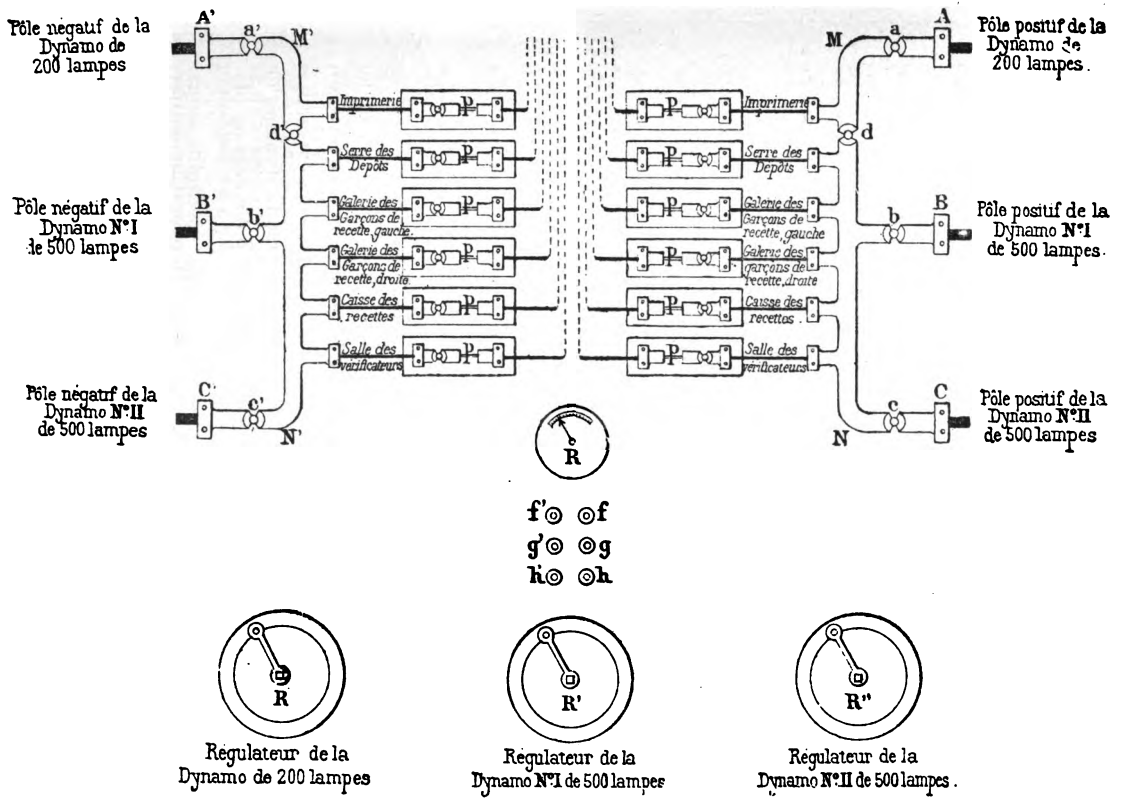


Fig. 138.

Digitized by Google

Les conducteurs des dynamos arrivent aux 2 barres de cuivre MN, M'N', les conducteurs des pôles positifs à la barre MN, les conducteurs des pôles négatifs à la barre M'N'; les blocs métalliques A, A' sont reliés à la dynamo de 200 lampes; B, B' à la dynamo n° I de 500 lampes; C, C' à la dynamo n° II de 500 lampes. En *a*, *a'*, *b*, *b'*, *c*, *c'* sont des interrupteurs à cheville métallique. Lorsque les chevilles sont en place, le courant des dynamos arrive au tableau; dans le cas contraire, les machines sont hors de circuit. En outre de ces 6 interrupteurs, les barres en portent deux autres, en *d*, *d'*, dont nous indiquerons le rôle plus loin. On voit déjà que, lorsque les 8 interrupteurs sont fermés, les 3 dynamos se trouvent associées en quantité.

Les 2 barres MM, M'N' sont reliées par de gros torons en fil de cuivre à 6 autres interrupteurs placés à la partie centrale du tableau et correspondant aux 6 circuits des lampes. Chacun de ces interrupteurs est muni d'un plomb de sûreté en *p*, *p*... Les désignations des 6 circuits sont indiquées par des étiquettes fixées sur le tableau.

En temps normal, la dynamo de 200 lampes sert à l'alimentation d'un seul circuit, celui de l'imprimerie; et les interrupteurs *d*, *d'* restent ouverts. Mais, pour parer au cas où l'une des machines de 500 lampes ne se trouverait pas en état de fonctionner, et afin d'empêcher l'extinction de l'éclairage, il est utile de pouvoir mettre la dynamo de 200 lampes sur le circuit général. Il suffit pour cela de placer les chevilles *d*, *d'*.

En R est le voltmètre, du système Deprez-Carpentier, destiné à contrôler la différence de potentiel aux bornes des dynamos. Ces bornes sont respectivement reliées aux boutons *ff'*, *gg'*, *hh'*. Ces derniers, analogues aux boutons des sonneries électriques, communiquent d'autre part avec les bornes du voltmètre, de sorte qu'il suffit d'appuyer à

Digitized by Google

la fois sur ff', ou gg', ou hh', pour avoir la différence de potentiel aux bornes de la machine correspondante. R, R', R'' sont les régulateurs du champ magnétique des 3 machines.

§ **157. Mise en marche et arrêt des machines.** — 1° *Lampes à incandescence.* — Les opérations que l'on a à faire pour mettre en marche ou arrêter les dynamos ne sont pas les mêmes, suivant que le circuit comporte des lampes à incandescence ou des régulateurs à arc.

Quand le réseau ne renferme que des lampes à incandescence, avant de mettre en marche, on ferme tous les circuits, on insère toute la résistance du régulateur, et l'on fait tourner la machine. Quand elle a atteint sa vitesse normale, on agit peu à peu sur le régulateur pour diminuer la résistance, jusqu'à ce que l'on obtienne la tension voulue.

Pendant la marche, il faut, chaque fois qu'on allume ou qu'on éteint des lampes, retirer ou ajouter des résistances, au moyen du régulateur, en se guidant sur le voltmètre.

Quand on veut arrêter, on commence par débrayer la machine, et c'est seulement ensuite qu'on interrompt le circuit.

Si l'on est obligé d'éteindre toutes les lampes, sans qu'on puisse préalablement arrêter le moteur ou débrayer la dynamo, on ne doit pas couper subitement le circuit principal ou celui d'excitation; il faut au moyen de résistances diminuer peu à peu le courant de la dynamo. En coupant brusquement le circuit, on s'expose à voir le moteur s'emballer. En outre, l'extra-courant qui prend naissance dans les électros peut détruire l'isolement.

2° *Lampes à arc, en série.* — Quand ces lampes sont montées en série, on attend pour les mettre dans le circuit que la dynamo ait pris sa vitesse normale.

Digitized by Google

Lorsque, pendant la marche, on éteint une lampe, il faut la remplacer par une résistance équivalente au moyen d'un rhéostat qui est manœuvré à la main ou d'une façon automatique.

Pour arrêter, il faut commencer par débrayer la machine, ou diminuer sa vitesse jusqu'à ce qu'elle soit inférieure au tiers de celle de régime; c'est alors seulement qu'on interrompt le circuit des lampes. En opérant autrement, on s'expose à des décharges et l'on compromet l'isolement de la dynamo. Si l'on ne peut arrêter la machine, on doit réduire l'intensité en ajoutant des résistances avant de couper le circuit.

Lampes à arc, en dérivation. — Pour des lampes à arc placées en dérivation ou en groupes multiples, on opère de la même façon; dans les deux cas on les allume lorsque la machine a pris sa marche de régime. On met les différents groupes en circuit, l'un après l'autre, et l'on attend pour les insérer que les lampes précédemment allumées aient pris leur allure normale; car au début les lampes à arc demandent plus d'intensité que pendant leur marche de régime, et en mettant à la fois tous les groupes en circuit, on pourrait demander à la machine un travail trop grand.

Pour éteindre, on met les différents groupes hors circuit l'un après l'autre. Au moyen des résistances et en réglant convenablement les balais, on maintient les lampes qui restent à leur intensité normale. Enfin, on ne débraye la dynamo que quand toutes les lampes sont hors circuit, sinon on s'exposerait à détériorer leurs mécanismes.

Il est nécessaire d'éteindre les lampes pendant que la machine a son allure normale. En effet, les régulateurs à arc, sauf quelques types particuliers, exigent toujours un courant d'intensité déterminée et sont réglés en conséquence. Si cette intensité vient à diminuer, il se produit

Digitized by Google

un rapprochement des charbons, la résistance décroît, un courant anormal se produit et le régulateur peut être endommagé.

§ **158. Essai des lampes à incandescence.** — Comme nous l'avons vu précédemment, toutes les lampes à incandescence qui donnent la même intensité lumineuse doivent avoir à leurs bornes la même différence de potentiel. Il

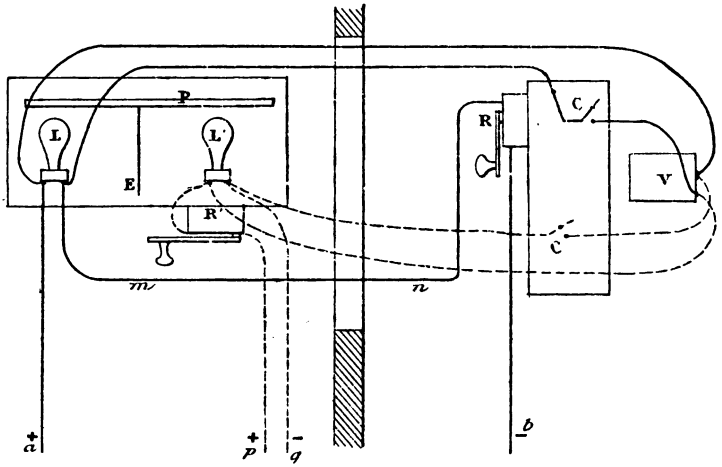


Fig. 139.

importe de pouvoir les vérifier. Le fabricant classe ses lampes en divers types, suivant l'éclat qu'elles fournissent et la différence de potentiel qu'elles exigent. Pour chaque type sont établies des lampes-étalons.

Pour essayer une lampe, on dispose l'expérience comme l'indique la fig. 139. Deux opérateurs sont placés dans deux chambres voisines. La première contient un photomètre de Bunsen P. D'un côté de l'écran se place à poste

Digitized by Google

fixe la lampe-étalon L; de l'autre côté, la lampe essayée L'; un rhéostat est établi en R'.

Dans la seconde chambre se trouve une table munie de 2 interrupteurs C, C', d'un rhéostat R, et d'un voltmètre V. Le courant arrivant en *a* traverse la lampe L, puis, suivant le fil *m n*, il se rend au rhéostat R, et s'en va par *b*. Une dérivation partant de cette lampe se rend au voltmètre V après avoir traversé l'interrupteur C.

De même, le courant traversant la lampe L' arrive par *p*, passe dans le rhéostat R', et s'échappe en *q*. Une dérivation partant de L' se rend au voltmètre V, après avoir traversé l'interrupteur C'.

Voici comment on opère : La lampe L' étant placée à son poste, le premier opérateur commence par fermer l'interrupteur C, ce qui met le voltmètre aux bornes de la lampe-étalon; et il agit sur la résistance R de manière à amener la différence de potentiel à être celle de l'étalonnage.

Il fait alors un signal au second opérateur. Celui-ci agissant sur la résistance R', fait varier l'intensité du courant dans la lampe L', de manière à lui donner le même éclat que l'étalon. Il fait alors un signal au premier opérateur qui, ouvrant l'interrupeur C, ferme C', et attèle par conséquent le voltmètre à la lampe L'. Il lit la déviation, qui lui donne en volts la différence de potentiel aux bornes de L' au moment où cette lampe acquiert l'intensité lumineuse de l'étalon. Puis il ouvre C' et ferme C, et les essais recommencent pour une autre lampe. Ces opérations se font très rapidement.

Photomètre Bunsen. — Rappelons que le photomètre de Bunsen est basé sur le principe suivant : Quand 2 sources lumineuses ayant des intensités I, I' et placées à des distances *r*, *r'* d'une même surface, y produisent le même éclairement, les intensités sont proportionnelles aux car-

Digitized by Google

rés des distances. L'appareil est formé d'une feuille de papier E (fig. 139), au milieu de laquelle est une tache d'huile. Les sources lumineuses L, L' sont placées de chaque côté de cette feuille. Quand la tache présente la même apparence sur ses 2 faces, elle est également éclairée; on a :

$$\frac{I}{I'} = \frac{r^2}{r'^2}.$$

Si donc les 2 distances r et r' sont égales, et que la tache soit également éclairée, les deux intensités lumineuses I et I' sont égales.

§ 159. Emploi des accumulateurs pour l'éclairage. — Dans l'éclairage particulier, les accumulateurs peuvent jouer plusieurs rôles :

1° Ils sont employés comme une simple pile; on les charge au-dehors et on les installe seulement pour le moment voulu. Ce cas est assez rare à cause de la manutention qu'il exige. On y a recours pour des installations provisoires : salles de fête, etc., ou pour l'éclairage des trains de chemin de fer. On embarque les accumulateurs tout chargés suivant le nombre de wagons et la longueur du trajet. Dans de pareilles installations on opère comme avec des piles primaires.

2° Les accumulateurs sont chargés par une dynamo affectée spécialement à cet usage. C'est le cas d'une usine possédant un excès de puissance motrice. On l'utilise pendant le jour pour charger les accumulateurs qui doivent suffire ensuite à l'entretien des lampes.

La fig. 140 donne d'une manière théorique les dispositions que l'on peut adopter dans cette circonstance.

D Dynamo.
A Ampèremètre placé dans le circuit.

Digitized by Google

V Voltmètre en dérivation, avec interrupteur *i*.
I Disjoncteur automatique.
P Accumulateur.
a, *b*, *c* Commutateur à trois chevilles.
L Lampes.
S Commutateur communiquant en *O* avec la ligne, et possédant plusieurs plots que l'on peut relier aux différents éléments de l'accumulateur.

Si l'on enfonce les 2 chevilles *a*, *c*, et qu'on retire *b*, le courant de la dynamo suivra la direction *y*, *n*, chargera l'accumulateur et reviendra par *o*, *a*, *x*. Dans le cas où la force électromotrice de la batterie deviendrait trop forte, le circuit serait interrompu en I par le disjoncteur. Le commutateur S permet de charger un nombre d'éléments voulu suivant le plot sur lequel on l'appuie.

Pour alimenter les lampes avec l'accumulateur, on ôte la cheville *a*, et on enfonce *b* et *c*; le courant suit la direction *n*, *f*, *e*, *b*, *o*. Le commutateur S permet de mettre dans le circuit un nombre déterminé d'éléments; en outre quand, à la fin de l'opération, la force électromotrice de l'accumulateur diminue, il donne la faculté d'ajouter quelques éléments de renfort. Au lieu de cette disposition on peut placer en S un rhéostat avec lequel on diminue la résistance intercalée à mesure que la décharge avance.

Enfin, si l'on veut alimenter les lampes avec la dynamo, on ôte la cheville *c*, et on met en place *a* et *b*. Le courant suit la ligne *y*, *f*, traverse les lampes et revient par *e*, *b*, *x*.

3° Les lampes doivent être alimentées à la fois par la dynamo et par les accumulateurs. C'est le cas où la force motrice qui commande la dynamo est susceptible d'éprouver des variations. Les accumulateurs servent alors à suppléer à l'insuffisance de la machine. Reprenons la fig. 140, et admettons que les 3 chevilles *a*, *b*, *c* soient en place.

Tant que la dynamo a sa vitesse et sa force électromo-

Digitized by Google

trice normales, une partie de son courant alimente les lampes par le circuit *y*, *f*, *e*, *x*; l'autre portion sert à charger les accumulateurs en suivant le chemin *y*, *n*, *c*, *x*. Si sa vitesse se ralentit, et que sa force électromotrice devienne inférieure à celle de l'accumulateur, le disjoncteur I fonctionne et rompt la circulation entre la dynamo et la batterie. Les lampes sont dès lors alimentées par le courant de l'accumulateur qui suit la direction *n*, *f*, *b*, *o*.

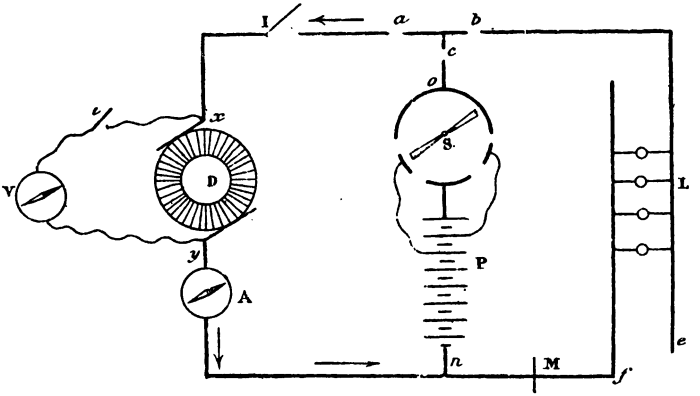


Fig. 140.

Les différents procédés que nous venons d'étudier montrent le parti qu'on peut tirer des accumulateurs dans une installation privée, par exemple, pour une usine, un magasin, un théâtre, etc. En étudiant la distribution de l'électricité par stations centrales, nous verrons plus loin comment ils peuvent être employés dans cette circonstance.

§ **160. Instructions générales pour l'exécution des installations électriques à l'intérieur des maisons.** — Dans sa séance du 7 juin 1892, la Chambre syndicale des

Digitized by Google

industries électriques a adopté les instructions suivantes résumant les règles indispensables au bon fonctionnement d'une installation électrique. Ces lois ne sont pas absolues; en laissant à chacun son initiative personnelle, elles indiquent seulement les précautions qu'il est prudent d'observer.

I. — QUALITÉS DES MATÉRIAUX.

1. Tous les *câbles* et *fils* conducteurs seront en cuivre d'une conductibilité au moins égale à 90 pour 100 de celle du cuivre pur[1].

2. La *section* sera déterminée par la condition que la perte de charge, entre le coffret de branchement et la lampe la plus éloignée, ne dépasse pas 3 pour 100 du voltage au coffret.

En outre, elle devra toujours être suffisante pour que le passage accidentel d'un courant d'une intensité double de la normale ne détermine pas un échauffement supérieur à 40°. Ce résultat sera obtenu en général si la densité du courant ne dépasse pas :

3 amp. par mm². pour des sections de 1 à 5 mm².
2 — — 5 à 50 mm².
1 — — au-dessus de 50 mm².

Enfin on n'emploiera aucun conducteur dont l'âme soit formée par un fil unique d'un diamètre inférieur à 0,9 mm.

3. L'emploi des fils nus, interdit en principe, pourra être autorisé dans certains cas particuliers. Quelle que soit la nature des locaux, la couverture isolante du fil, ou la gaîne de protection mécanique doit être (l'une ou l'autre) *imperméable*.

1. On entend par là la conductibilité qui correspond à une résistance spécifique inférieure à 1,0 microhm-centimètre.

Digitized by Google

4. *L'isolation* sera obtenue par une ou plusieurs couches de matières non conductrices, placées directement sur l'âme de cuivre. Cette couverture isolante devra être assez solide pour résister aux détériorations dues au montage.

5. *Protection mécanique.* — En règle générale, les fils seront toujours pourvus d'une protection mécanique indépendante de leur couverture isolante. Si les conducteurs sont posés sur les murs dans des locaux humides, cette protection devra former une gaîne imperméable. On pourra employer les bois moulurés dans les locaux secs. Ces moulures devront être en bois sec et fermées à l'aide de couvercles. Lorsque les fils seront laissés apparents dans des locaux secs, ce qui n'aura lieu, autant que possible, que hors de portée de la main, ils devront être protégés par un ruban, une tresse, ou toute autre couverture indépendante de la matière isolante.

6. *Interrupteurs.* — La matière formant la base des interrupteurs devra être appropriée à la nature de l'emplacement qu'ils occuperont. Les interrupteurs devront assurer un bon contact et ne pas s'échauffer par le passage du courant. Lorsque la rupture peut donner lieu à un arc notable, par exemple au-dessus de 5 amp. sous 100 volts, il est nécessaire que l'appareil ne puisse pas rester dans une position intermédiaire et que son support soit en matière incombustible et indéformable.

7. *Coupe-circuits et fils fusibles.* — Les coupe-circuits doivent être disposés de telle sorte que la fusion d'un fil fusible ne détermine pas de court-circuit. Les fils fusibles doivent être faciles à remplacer, ne pas donner lieu à des projections de métal fondu.

Ils devront être marqués d'un chiffre bien apparent, représentant le courant normal pour lequel ils sont établis. Ils devront fondre pour un courant au plus égal au triple du courant normal.

Digitized by Google

8. *Lampes à arc.* — Les lampes à arc seront toujours pourvues d'enveloppes et de cendriers. Les lampes placées à l'extérieur auront leurs bornes bien protégées de la pluie et des chocs. Les rhéostats devront être montés sur matière incombustible et non hygrométrique. Leurs fils seront calculés de manière à ne pas dépasser la température de 200° en fonctionnement normal.

II. — CONDITIONS DE POSE.

9. *Conducteurs.* — Les moulures servant de protection mécanique aux conducteurs ne doivent présenter aucune discontinuité dans les raccords ou dans les angles vifs. Les conducteurs n'y seront maintenus que par le couvercle. On ne pourra pas mettre 2 fils dans la même rainure. Aux croisements des tuyaux de gaz, il y aura un supplément d'isolement et de protection mécanique. A la traversée des murs et plafonds, la protection mécanique sera avantageusement formée d'un tube en matière dure avec angles arrondis. Si ce tube est métallique, une gaîne isolante supplémentaire devra recouvrir le fil et déborder les extrémités du tube. Lorsque des conducteurs séparés seront apparents, ils seront à un écartement minimum d'un centimètre et assujettis de manière à conserver cet écartement.

10. *Fils doubles.* — Des conducteurs doubles, renfermant sous une même tresse ou ruban les 2 fils isolés séparément, peuvent être employés; mais l'isolement électrique des 2 âmes et leur écartement devront être parfaitement assurés. Cette prescription est également applicable à des conducteurs de même polarité.

11. *Fils souples.* —Les fils souples ne seront employés que lorsqu'ils seront inévitables. Ils seront reliés aux appareils de telle sorte que la traction ne puisse déchirer l'isolement des fils. Leurs raccordements avec des fils massifs

Digitized by Google

seront faits par des soudures soignées. Il sera placé un fil fusible simple à l'un des points d'attache d'un fil souple à deux conducteurs.

12. *Soudures.* — Les soudures seront faites en évitant l'emploi des substances décapantes liquides. Elles ne devront pas former des points faibles, soit mécaniquement, soit électriquement; et l'isolement électrique devra être rétabli avec des matières isolantes équivalentes à celles qui servent d'enveloppes aux câbles et fils.

13. *Tableaux et petits appareils.* — Il est toujours désirable que le départ des circuits s'effectue à partir de tableaux sur lesquels la subdivision est poussée aussi loin que possible sur la face apparente. Il faut prendre les précautions nécessaires pour qu'un court-circuit n'y puisse pas être produit par le contact d'un objet métallique.

14. *Coupe-circuits.* — Chaque circuit sera pourvu à son origine d'un double coupe-circuit. Chaque branchement en sera également pourvu ; et de même, chaque subdivision dans laquelle l'intensité peut atteindre 5 amp. Ce coupe-circuit devra être facilement accessible et mis à l'abri des matières inflammables.

15. *Appareillage.* — Si des appareils portent chacun un grand nombre de lampes, celles-ci seront divisées en plusieurs groupes, consommant chacun 5 amp. au plus ; et chaque groupe sera muni de son double circuit. Les appareils tels que lustres, appliques, etc., exclusivement employés à l'électricité, seront isolés électriquement à leur point d'attache, et la masse des appareils ne devra pas faire partie intégrante du circuit. Les douilles y seront fixées de manière à ne pas pouvoir tourner. Lorsque les appareils servent à la fois au gaz et à l'électricité, ils devront remplir les conditions suivantes :

1° La masse de l'appareil sera isolée électriquement de la canalisation du gaz par 500 000 ohms au moins ;

Digitized by Google

2° Les douilles des lampes incandescentes ou la masse de la lampe à arc seront elles-mêmes isolées électriquement de celle de l'appareil;

3° Enfin les fils, fortement isolés et protégés, seront assujettis en épousant les formes de l'appareil, et de manière à n'être pas détériorés par la chaleur du gaz.

16. *Lampes à arc.* — Chaque circuit de lampe à arc comprendra un interrupteur et un plomb fusible. Si l'on fait usage de résistances, elles seront placées de manière à éviter le contact de toute matière inflammable, assez éloignées de la paroi pour que celle-ci n'ait rien à craindre de l'échauffement du fil, et disposées de telle sorte que la circulation de l'air soit assurée.

17. *Isolement.* — L'isolement devra être tel que, dans une section quelconque de l'installation, la perte du courant qui peut se produire, soit entre un conducteur et la terre, soit entre les deux conducteurs, atteigne au plus un *dix-millième* du courant qui doit alimenter les appareils de cette section. Par exemple, un branchement parcouru par 10 amp. devra posséder un isolement tel que le courant n'y excède pas 0,001 amp., et dans ce cas particulier, sur un circuit à 100 volts, la valeur de l'isolement sera donc au moins de 100 000 ohms.

Digitized by Google

CHAPITRE III

DISTRIBUTION PAR STATIONS CENTRALES

§ **161. Considérations générales.** — Nous avons vu dans le chapitre précédent comment on peut résoudre le problème de l'éclairage dans une installation particulière, usine, théâtre, magasin, etc. Dans ce cas, l'emplacement qu'on a à éclairer est limité, le nombre des lampes, sans être absolument fixe, peut être prévu avec une certaine approximation. Enfin la durée d'éclairage de chacune est à peu près connue. On peut donc calculer la puissance motrice, le débit d'électricité et par conséquent les sections des conducteurs; et, en se basant sur les règles que nous avons indiquées, on arrivera à résoudre la question dans la plupart des cas.

Mais quand il s'agit de distribuer l'électricité à un quartier d'une ville, le problème se complique beaucoup. En effet, le nombre de lampes allumées ensemble varie à chaque instant, sans qu'on puisse poser aucune loi à cet égard. La durée d'éclairage de chaque foyer ne peut pas non plus être fixée d'avance. Tous les appareils desservis par la même station sont absolument indépendants les uns des autres. L'usine doit donc être calculée pour le cas du débit maximum où tous les appareils marcheraient à la fois, mais il faut que sa production se règle continuellement d'après la consommation.

En outre, dans une pareille installation, la question des

Digitized by Google

conducteurs joue un rôle capital. Leur établissement dans les rues est très dispendieux. Les distances sont généralement grandes et la dépense de canalisation est considérable; il importe donc de la réduire.

Il est impossible de prévoir tous les cas qui peuvent se présenter dans une installation de cette nature. Nous nous bornerons donc à poser quelques principes généraux et à citer des exemples. Du reste, nous sommes limité par le cadre de cet ouvrage, qui s'adresse plutôt à des particuliers qu'à des entrepreneurs d'éclairage public.

Plusieurs systèmes sont adoptés pour les stations centrales, et on les divise en deux catégories principales :

1° Distributions directes, dans lesquelles l'énergie électrique produite par la station est livrée au consommateur sans subir aucune transformation.

2° Distributions indirectes, qui ne livrent l'électricité aux abonnés qu'après lui avoir fait subir une transformation dans un appareil spécial, accumulateur ou transformateur.

Enfin ces deux modes de distribution sont souvent appliqués en même temps dans la même station.

DISTRIBUTIONS DIRECTES.

§ **162.** — L'énergie électrique fournie par les machines doit varier constamment suivant les besoins de la consommation. Elle est représentée par le produit de l'intensité par la différence de potentiel aux bornes ($E \times I$). Il suffit donc de faire varier l'un des facteurs de ce produit. On peut résoudre la question de deux façons :

1° Établir aux bornes de la dynamo une différence de potentiel constante, et faire varier l'intensité;

2° Maintenir l'intensité constante dans le circuit, et faire varier la différence de potentiel.

Digitized by Google

Il s'agit, pour résoudre le problème, d'adopter un système de régulation maintenant constante la différence de potentiel ou l'intensité. Chacun de ces procédés présente ses avantages et ses inconvénients. Avec une différence de potentiel constante, les lampes sont placées toutes en dérivation; elles ont donc l'avantage d'être indépendantes les unes des autres; mais l'intensité étant proportionnelle au nombre de foyers en service, le diamètre des conducteurs doit augmenter en conséquence. En outre, ces conducteurs absorbent une grande quantité d'énergie, leur longueur doit rester comprise dans certaines limites. En général, on ne dépasse guère un rayon de 500 à 600 mètres autour de l'usine contenant les dynamos.

Quand l'intensité est constante, les appareils sont disposés en série. Ils sont donc dépendants les uns des autres, et la régulation est plus difficile que dans le premier cas. Avec cette disposition, la différence de potentiel doit croître avec le nombre de foyers en service et peut créer un danger. Ce système a l'avantage d'exiger des conducteurs de moindre section que l'autre procédé.

Distribution à différence de potentiel constante. — On obtient une différence de potentiel constante aux bornes de la dynamo en faisant varier l'intensité de son champ magnétique de façon à proportionner le courant inducteur au travail qu'on a à produire. Voici comment Edison a résolu la question dans l'usine de Pearl Street, à New-York (fig. 141).

Les électro-aimants inducteurs de la dynamo sont placés en dérivation sur le circuit principal, ainsi qu'un régulateur de résistance B, sur lequel peut être développée une résistance variable allant jusqu'à 180000 ohms. L'augmentation ou la diminution de cette résistance se fait à l'aide d'un commutateur circulaire C, manœuvré à la main par un ouvrier qui se règle au moyen d'un galvanomètre. Sur

Digitized by Google

une dérivation *dd* du courant principal, se trouvent un galvanomètre Thomson G, et une batterie étalon P de 110 volts, dont le courant est opposé dans le galvanomètre à celui de la machine.

Lorsque l'image réfléchie par le miroir du galvanomètre

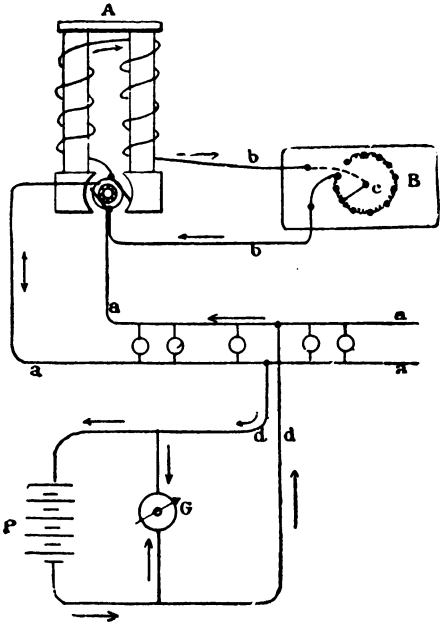


Fig. 141.

reste au zéro de l'échelle, c'est que la différence de potentiel entre les conducteurs *a*, *a* est de 110 volts. Si le galvanomètre dévie, c'est que cette différence de potentiel doit être modifiée; et l'échelle est graduée de façon à indiquer la résistance qu'il faut ajouter en *b b* pour chaque cas.

Comme nous l'avons vu plus haut, l'inconvénient de ce

Digitized by Google

système est d'exiger des conducteurs de gros diamètre. Pour y remédier, Edison a employé d'abord le montage à 3 fils dont nous avons parlé § 137, qui réduit le poids de cuivre. Plus tard il a généralisé cette solution, en reliant 3 ou 4 dynamos en série et établissant entre elles des fils de compensation analogues au troisième conducteur dans le montage à 3 fils.

Distribution à intensité constante. — Dans ce système, la différence de potentiel aux bornes doit varier suivant le nombre de lampes allumées. On y arrive par l'emploi d'un régulateur de champ magnétique, que l'on manœuvre à la main d'après les indications de l'ampèremètre; ou en adoptant des dispositions automatiques, comme celle qui produit dans la machine Thomson-Houston le décalage des balais.

Les lampes étant groupées en série doivent être mises hors circuit quand elles ne marchent pas. Nous avons indiqué quelques dispositions destinées à cet usage.

Dans les distributions à intensité constante, on emploie ordinairement des courants ne dépassant pas 10 amp., ce qui permet d'augmenter le rayon d'action. Le maximum adopté généralement pour la différence de potentiel aux bornes de la dynamo est de 2 000 à 2 500 volts.

DISTRIBUTIONS INDIRECTES.

§ 163. Emploi des accumulateurs dans les stations centrales. — Nous avons vu § 159 comment ces appareils pouvaient être utilisés dans des installations particulières. Les services qu'ils rendent dans les stations centrales sont de même nature. Ils servent seuls à l'alimentation des lampes; ou bien ils viennent en aide aux dynamos et concourent avec elles pour fournir le courant nécessaire à l'éclairage.

Digitized by Google

Un système de distribution établi à Paris par M. V. Popp est basé sur le premier système. Les dynamos placées dans des usines situées à grande distance envoient l'électricité dans des stations intermédiaires où sont disposés des accumulateurs. Là les batteries se chargent, et le courant est ensuite distribué aux abonnés.

Ce même procédé est appliqué à Chelsen par la *Chelsen Electricity Supply C°*. Les accumulateurs sont chargés dans des stations auxiliaires, qui distribuent ensuite le courant des batteries. Il existe 3 stations semblables; chacune alimente 2 000 lampes de 30 watts et de 10 bougies. Il y a 2 groupes de batteries; l'un fournit le courant pendant que l'autre se charge. Le courant de charge a une tension de 500 volts par station, et le courant est livré aux abonnés à la tension de 100 volts.

Les accumulateurs offrent toute garantie au point de vue de la sécurité du fonctionnement. On peut les employer comme réserve, pour faire face à un accident ou à un excès de consommation imprévu. En plaçant des appareils de cette nature dans des stations secondaires, on a le moyen de fournir la lumière sans craindre une interruption subite; on peut encore suppléer ainsi au travail des dynamos pendant la nuit, ce qui permet de diminuer la puissance de ces machines et de réduire le diamètre des conducteurs principaux. Enfin, on peut avec les accumulateurs satisfaire au service de jour ou au service tardif de nuit qui, sans cela, sont très onéreux.

D'après la commission de Francfort, il est préférable, dans une grande installation, d'avoir des accumulateurs, plutôt que de faire marcher de grandes dynamos pendant le jour. Quand la consommation diminue, on utilise les machines à charger les accumulateurs; mais, pour en tirer le meilleur parti, il faut les répartir en plusieurs points, tels que des stations secondaires, pour décharger les câbles.

Digitized by Google

Les accumulateurs ont l'inconvénient de produire une perte de travail importante, puisque toute l'énergie électrique consommée par les lampes a subi deux transformations ; elle a servi d'abord à charger les batteries, puis elle a été restituée sous forme de courant. Chacune de ces modifications entraîne une perte. Nous avons examiné cette question en parlant du rendement des accumulateurs. En

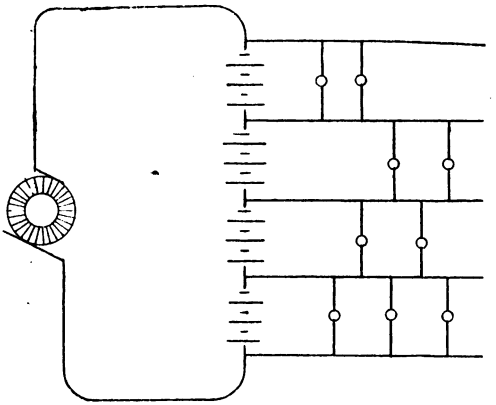


Fig. 142.

outre, ces appareils représentent un matériel considérable qui est très coûteux et exige beaucoup d'entretien.

Un autre procédé est appliqué à Londres par M. Crompton, à Vienne par M. Monnier, et à Berlin par M. Khatinsky ; il consiste à établir les accumulateurs et les lampes en dérivation sur les machines, comme l'indique la fig. 142. De cette façon, tant que l'énergie consommée par les lampes est plus faible que celle qui est fournie par la machine, les accumulateurs absorbent cet excès de travail et se chargent. Les lampes sont alors alimentées directement par la machine. Lorsque le contraire se produit et

Digitized by Google

que le réseau exige plus de travail, la dynamo et les accumulateurs ajoutent leurs courants pour alimenter les lampes. La figure représente la disposition adoptée à Vienne pour une installation comprenant 4 batteries de 100 volts chacune. La dynamo produit 400 volts; et la distribution se fait par le système à 5 fils d'Edison, sur 4 circuits à 100 volts.

Dans ce système, les accumulateurs ne fournissent

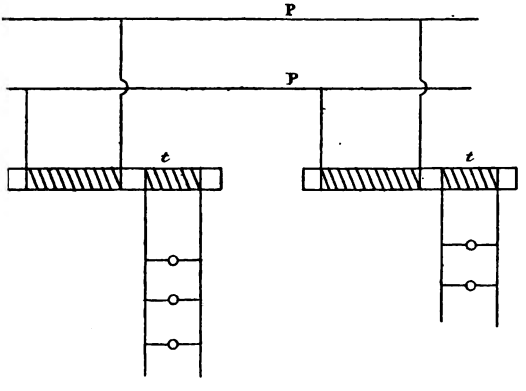


Fig. 143.

qu'une fraction du travail total; la perte de ce côté est donc moindre que quand le courant total est fourni par les batteries. De plus, ce procédé permet de réduire dans une forte proportion la quantité des accumulateurs.

§ **164. Emploi des transformateurs.** — La distribution par transformateurs se fait de 2 manières différentes. On peut avoir une différence de potentiel constante aux bornes du circuit secondaire, ou une intensité constante dans ce circuit. Le circuit primaire sera disposé en conséquence; c'est-à-dire que la différence de potentiel sera constante

Digitized by Google

aux bornes de la dynamo, ou que l'intensité sera constante dans le circuit primaire.

Pour obtenir la constance dans la différence de potentiel, on placera les transformateurs tous en dérivation sur le

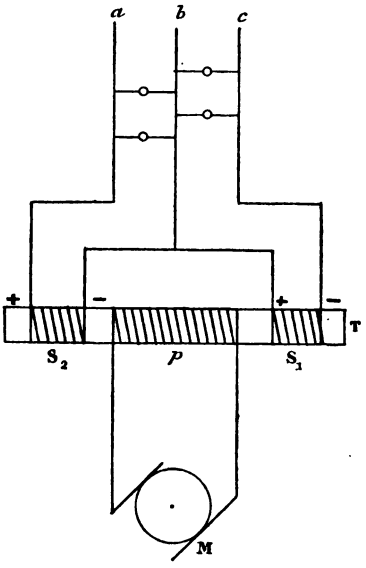


Fig. 144.

circuit primaire. Pour avoir l'intensité constante, on disposera ces appareils en série.

La fig. 143 montre un mode de distribution dans lequel les transformateurs t, t' sont montés en dérivation sur le circuit primaire P P. Chaque appareil est affecté à un groupe de lampes montées aussi en dérivation sur les circuits d'alimentation.

L'inconvénient de ce genre de montage est que, s'il arrive un accident au transformateur, toutes les lampes

Digitized by Google

du groupe sont arrêtées. Pour l'éviter, on peut alimenter le même groupe de lampes par 2 transformateurs disposés en quantité, afin que l'un d'eux puisse entretenir le circuit en cas d'accident de l'autre.

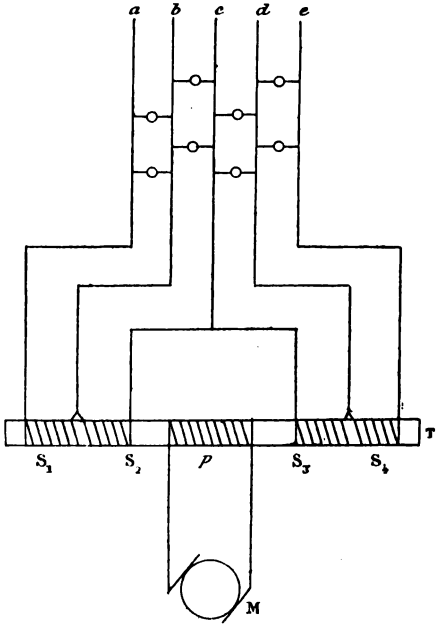


Fig. 145.

Distribution Siemens et Halske. — Ce système représenté par la fig. 144 est analogue à celui que nous avons étudié, sous le nom de *montage à 3 fils*. Le circuit primaire *p* du transformateur T est relié directement à la dynamo M. Les circuits secondaires S_1, S_2 se rattachent aux 3 fils *a*, *b*, *c* du circuit extérieur. Tant qu'il existe un même nombre de lampes allumées entre *ab* et *bc*, il ne passe aucun courant

Digitized by Google

par le fil compensateur *b*. Dans le cas contraire, l'intensité y est toujours égale à la différence des intensités en *ab* et en *bc*.

On peut par le même procédé desservir plusieurs branchements. La fig. 145 représente 4 groupes de circuits secondaires S_1, S_2, S_3, S_4, disposés en série et desservant 5 branchements *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, au moyen de 3 circuits compensateurs *b*, *c*, *d*.

Distribution Westinghouse. — Ce système sert à assurer

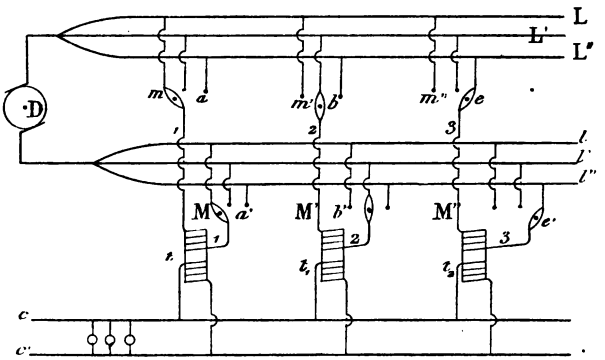


Fig. 146.

le passage des courants dans les conducteurs principaux jusqu'aux points où ils doivent être utilisés dans les transformateurs. Il est représenté sur la fig. 146. D étant la dynamo à courants alternatifs, les courants sont transmis sur plusieurs lignes principales (nous en supposons 3 dans le cas présent), L, L', L'', *l*, *l'*, *l''*. Ces lignes sont destinées à amener le courant dans les tranformateurs *t*, t_1, t_2, qui doivent desservir les lampes montées sur la double ligne *c c'*.

La bobine primaire du transformateur *t* est alimentée par

Digitized by Google

le fil 1 1, reliant les conducteurs L, *l*. La bobine primaire de t_1 est alimentés par le fil 2 2, reliant L' et *l'*. Enfin, la bobine primaire de t_2 est alimentée par le fil 3 3, reliant L'' et *l''*. Des commutateurs *m*, *m'*, *m''* sont placés à l'origine de ces fils, et ils peuvent établir la communication entre chacun de ces fils et chacun des conducteurs L, L', L''. Les commutateurs M, M', M'' permettent de relier les fils primaires sortant des transformateurs avec chaque conducteur *l*, *l'*, *l''*. Les circuits secondaires des transformateurs sont reliés en quantité aux conducteurs *c*, *c'*.

Grâce à cette disposition, s'il se produit une interruption sur un conducteur principal L'', le transformateur correspondant pourra être rattaché à l'un des autres conducteurs de même sens, L' par exemple, et le courant nécessaire sera fourni à la ligne *cc'* jusqu'à ce que le défaut soit corrigé.

Ce que nous avons dit au sujet des soins à donner aux machines et aux appareils divers peut être répété à propos des stations centrales. Comme dans une pareille installation le service ne doit jamais être interrompu, il est indispensable d'avoir un matériel de réserve, moteurs et dynamos. Il est utile que les dynamos soient disposées de façon à ce que l'une d'elles puisse alimenter l'un quelconque des circuits. Le grand inconvénient de ces industries est la nécessité d'un matériel qui est inactif pendant une grande partie de la journée. Il est regrettable que la distribution de l'énergie à domicile ne soit pas encore entrée dans les habitudes parisiennes. Les stations trouveraient là une façon d'utiliser leur matériel pendant le jour.

Pour terminer cette question, nous donnons plus loin quelques exemples de distribution de lumière par stations centrales.

Digitized by Google

EXEMPLES DE DISTRIBUTION

PAR STATIONS CENTRALES

§ **165. Station électrique des Halles centrales.** — Dans cette station il existe 2 modes de distribution différents, l'un à basse, l'autre à haute tension.

1° *Distribution à basse tension.* — Les dynamos, du type

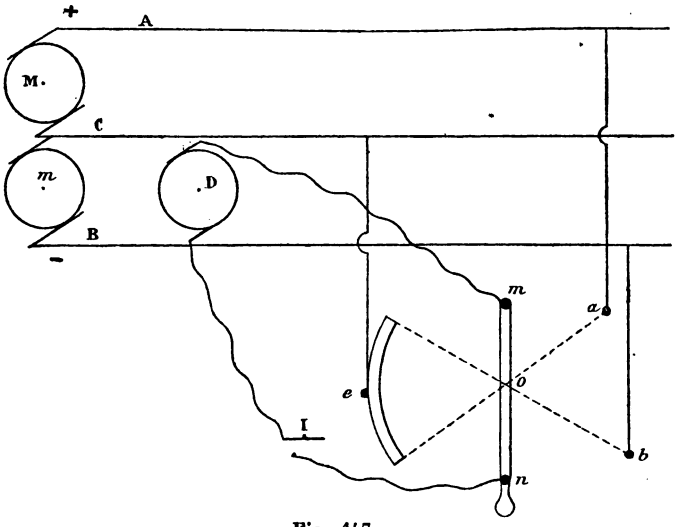


Fig. 147.

Edison, au nombre de six, sont groupées dans le système à 3 fils par feeders. Elles sont rattachées toutes à 3 barres, A, B, C; C étant le conducteur neutre (fig. 147); et c'est au moyen du tableau de distribution seul que le courant est réparti dans les différents circuits.

Un *commutateur-inverseur* permet d'associer les machines en tension ou en quantité suivant les besoins. Les

Digitized by Google

barres sont reliées à 3 plots a, b, c. Autour de l'axe o tourne un commutateur à manette muni de 2 touches m, n attachées respectivement aux 2 pôles de la dynamo D. Le commutateur peut occuper 3 positions : celle de la figure où aucun courant ne passe ; la position b o reliant B à C ; et la position a O rattachant A à C. La dynamo D peut donc être reliée en quantité à l'une ou l'autre des machines M ou m. Chaque dynamo est munie d'un commutateur semblable, et ces 6 inverseurs sont montés sur le même bâti que les 3 barres.

Sur ce bâti sont encore disposés les 6 rhéostats de champ

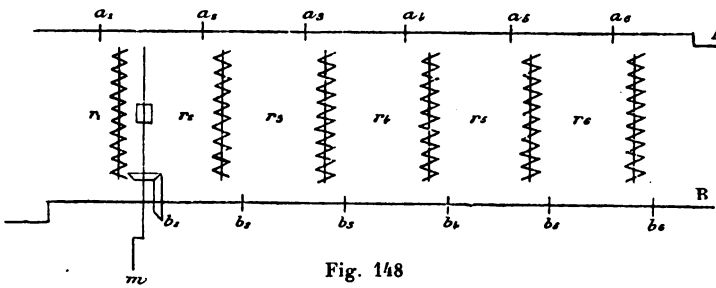


Fig. 148

magnétique des dynamos, avec l'appareil suivant qui sert à les manœuvrer. Les rhéostats à curseurs sont indiqués en r_1, r_2, r_3,... (fig. 148) ; chaque curseur peut être manœuvré isolément par une manivelle m, ou bien ils sont rendus solidaires les uns des autres. Dans ce but, l'arbre du curseur porte une roue dentée, qui peut être rendue folle, ou s'embrayer avec un pignon de l'arbre correspondant B, A ; et alors les rhéostats d'un même groupe de machines sont commandés solidairement. Si, par exemple, les machines 1, 3, 5 sont associées en quantité, 2, 4, 6 également, ces 2 groupes étant réunis en tension, on embrayera a_1, a_3, a_5 sur A, et b_2, b_4, b_6 sur B ; et le mouvement communiqué à

Digitized by Google

chaque arbre sera transmis aux rhéostats correspondants. Si une machine est hors circuit, la roue dentée afférente est laissée folle sur l'arbre.

Lorsqu'on veut introduire une dynamo dans le circuit pendant que le courant circule, il faut :

1° Fermer l'inducteur avant de fermer l'induit;

2° Fermer l'induit au moment où la tension de la machine en question est égale à celle du courant établi.

Dans ce but, le plot *m* de l'inverseur (fig. 147) a une échancrure où pénètre un disque C (fig. 149), qui commande le commutateur du champ magnétique; ce disque a aussi une échancrure semblable. L'induit est ouvert dans

Fig. 149.

la position de gauche; pour le fermer on doit préalablement fermer l'inducteur en mettant son commutateur dans la position de droite. Avant de rompre le courant induit, il faut également rompre l'inducteur. Voici donc la série d'opérations à faire pour intercaler une dynamo dans le circuit pendant la marche du courant :

Fermer le circuit excitateur; mettre la manette *mn* dans la position voulue, et quand le voltmètre indique pour la dynamo une tension égale à celle du circuit, fermer l'interrupteur I (fig. 147).

Pour retirer la dynamo du circuit :

Agir sur le rhéostat du champ magnétique jusqu'à ce que l'ampèremètre indique 0; ouvrir l'interrupteur I, le commutateur *mn*, et couper le champ magnétique.

Les barres A, B, C arrivent au tableau de distribution

Digitized by Google

(fig. 150). De là partent 7 feeders, 1 2, 3...7. Les 3 fils de chacun aboutissent à des interrupteurs à verrou, I_1, I_2...I_7.

D_1, D_2,... ampèremètres;

V, voltmètre;

K, inverseur;

H, commutateur;

M, M, voltmètres;

T, T, indicateurs de terre à sonnerie;

L, indicateur de terre à lampes-témoins.

Trois circuits avec 5 feeders (à droite du tableau) servent

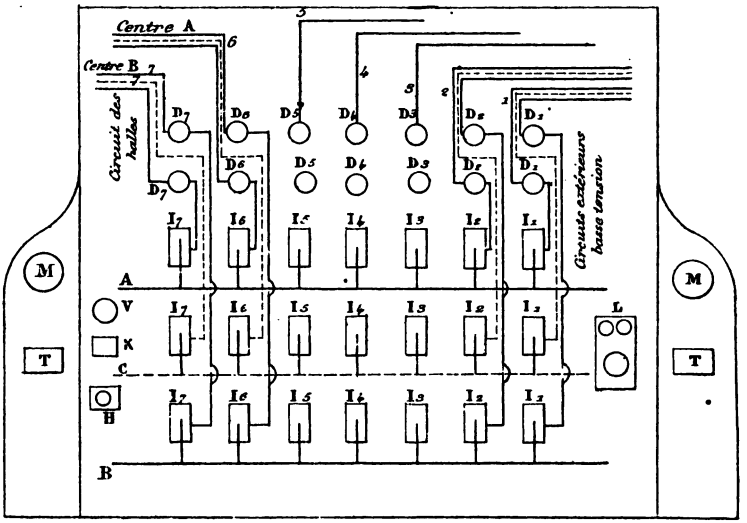


Fig. 150.

au réseau extérieur; ils doivent alimenter 2 000 lampes de 60 watts, dont 1 500 peuvent brûler en même temps. La chute de potentiel consentie aux bornes des feeders est de 15 volts. Les feeders 6, 7 (à gauche du tableau) aboutissent à 2 centres A, B destinés à alimenter les pavillons des

Digitized by Google

Halles. De chaque centre partent 3 fils par pavillon. Les lampes à incandescence sont attachées au fil neutre et à un des fils actifs, de façon à ce que le nombre soit égal des deux côtés. Les lampes à arc sont reliées par quatre en tension sur les 2 fils actifs.

A leur sortie du tableau de distribution, les feeders arrivent à 2 tableaux de réglage, où sont placés des rhéostats et des lampes-témoins ainsi que des ampèremètres. A chaque point d'insertion des feeders dans les circuits de distribution sont placés des fils de retour aboutissant à un voltmètre à commutateur donnant la tension en chacun de ces points.

Le réglage qui doit assurer à chaque lampe sa tension est fait par deux opérateurs. Le premier placé devant le tableau (fig. 150) maintient une différence de potentiel constante de 110 volts entre les barres AC, BC au moyen des rhéostats d'excitation. Il se règle d'après les indications des voltmètres et des lampes-témoins. Le second opérateur, placé devant le tableau de réglage des feeders, fait varier la résistance intercalée dans les divers circuits, de manière à ce que les indications des voltmètres soient constantes. De cette façon, le potentiel est maintenu le même aux centres de distribution.

2° *Distribution à haute tension.* — Le réseau extérieur, à haute tension, est alimenté par 3 machines alternatives Ferranti, de 150 chevaux et de 113 000 watts avec 2 400 volts. L'une de ces machines est réservée comme secours. Les 2 dynamos ont à entretenir 4 000 lampes de 60 bougies; chaque machine comporte un circuit spécial. Pendant le temps où la dépense ne nécessite qu'une dynamo, les 2 circuits peuvent être réunis sur un seul par le tableau de distribution. Le courant partant de l'usine a une tension de 2 400 volts; il est livré aux consommateurs à 100 volts.

Digitized by Google

Pour obtenir ce résultat, des transformateurs Ferranti ont été interposés entre le circuit et chaque compteur.

Lampes. — Les lampes à arc sont groupées par séries de quatre, chaque série possédant un rhéostat de réglage. Chaque lampe est munie d'un allumeur avec commutateur automatique permettant de substituer, en cas d'extinction, une résistance équivalente; ce commutateur peut être manœuvré également à la main.

Moteurs à vapeur. — Les dynamos Ferranti, tournant à 500 tours, sont mises en mouvement par 3 machines Lecouteux et Garnier tournant à 180 tours. La commande est faite par des cordes en coton. Les dynamos Edison sont commandées au moyen de courroies par des machines Weyher et Richemond, du type vertical, à pilon, à triple expansion et à condensation. Les moteurs marchent à 160 tours ; les dynamos à 600 tours.

§ **166. Station de l'avenue Trudaine.** — Cette station a été installée par la C^ie^ Edison; la canalisation est à 3 fils, avec feeders. Les dynamos, à 8 pôles, sont à induit double et à double collecteur. Deux induits avec leurs collecteurs sont montés sur un arbre, et ils tournent à l'intérieur de 2 inducteurs formés de 8 pôles disposés en cercle. On a en réalité 2 machines distinctes au point de vue électrique, mais montées sur le même bâti et commandées par le même arbre. Cette disposition est motivée par le système de distribution à 3 fils qui exige 2 dynamos accouplées en série, comme nous l'avons vu précédemment.

L'arbre est attelé directement au moteur à vapeur par l'intermédiaire de plateaux à bielles. Les constantes sont :

Puissance, 200 000 watts.
Force électromotrice, 125 volts.
Intensité normale, 800 × 2 = 1 600 ampères.
Intensité maxima, 1 000 × 2 = 2 000 —

Digitized by Google

Vitesse.....	135 tours par minute.
Résistance d'un circuit inducteur,	4,80 ohms.
Résistance — induit,	0,0037 —
Poids d'un inducteur double	8 250 Kg.
— induit double	1 5350 —
Poids total.	23 000 —
Diamètre de l'anneau.....	1,80 m.

L'excitation de chaque anneau est prise en dérivation sur lui-même; elle nécessite environ 25 amp. Il n'existe pas de tableau général de distribution; chaque organe, machine ou feeder, a un appareil spécial. La figure 151 montre schématiquement la disposition adoptée.

M M représente une machine à double induit; les 2 conducteurs actifs sont figurés en F, F, le conducteur neutre en F'. Deux interrupteurs conjugués I, I à verrou sont placés sur les conducteurs F, F; en manœuvrant le levier on ferme ou on ouvre le circuit à la fois sur les 2 conducteurs. Les inducteurs étant en S, S, 2 interrupteurs de champ magnétique également conjugués sont disposés en K, K; A, A sont les ampèremètres; V, V les voltmètres.

Les régulateurs de champ sont figurés en R, R. Ils sont disposés de telle façon que l'on peut manœuvrer isolément le régulateur de chaque machine, ou les rendre tous solidaires l'un de l'autre. La disposition est analogue à celle que nous avons décrite pour la station des Halles. Elle est représentée théoriquement sur la figure 151; mais en pratique elle diffère un peu. La figure 152 montre l'installation telle qu'elle est faite pour une machine. Le curseur c est commandé directement par la manivelle x, et dans ce cas, il se meut isolément. Son arbre peut être également manœuvré par une roue dentée à calage mobile, qui la fait à volonté engrener avec un pignon porté par l'arbre y, régnant tout le long du bâti, et peut commander les régulateurs de toutes les machines par un dispositif analogue;

Digitized by Google

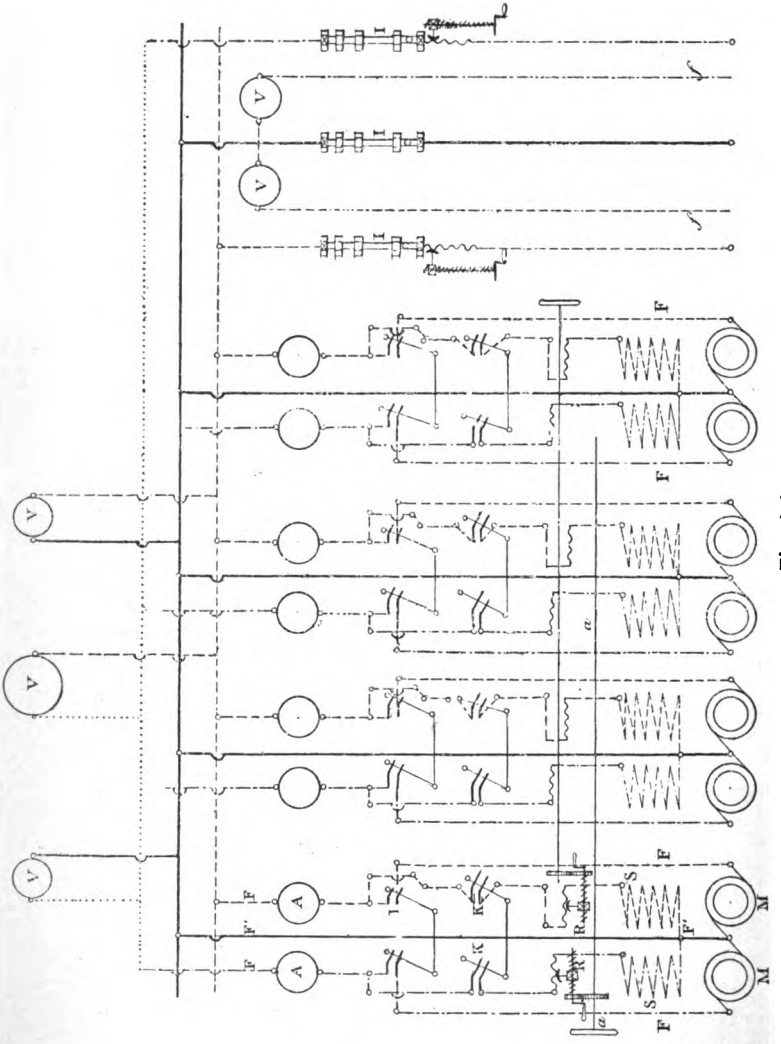


Fig. 151.

Digitized by Google

on obtient ainsi un mouvement solidaire de tous les curseurs et un réglage uniforme. Les résistances sont représentées en R.

L (fig. 152) est un interrupteur à verrou pour la ligne; *l* est l'interrupteur de champ magnétique. Ces appareils

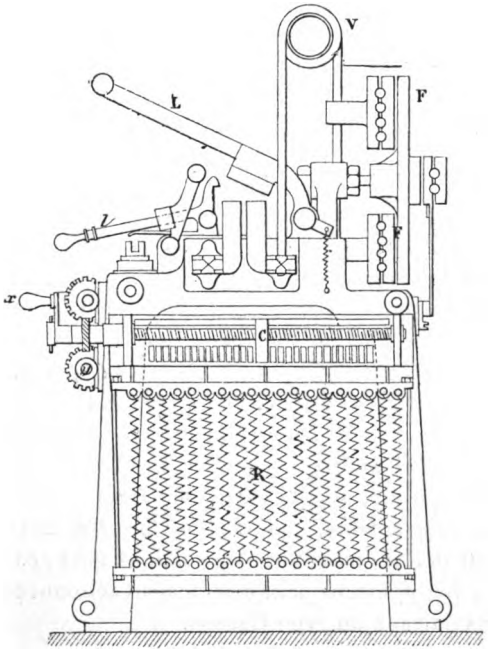


Fig. 152.

sont disposés de telle sorte qu'on ne peut abaisser le levier L que quand *l* est lui-même en bas; c'est-à-dire qu'on ne peut fermer le circuit de ligne que lorsque le circuit inducteur a été préalablement fermé. Dans ce but, le levier L, qui a en plan la forme d'un fer à cheval allongé, est muni en son milieu d'une traverse qui vient buter sur *l* et

Digitized by Google

empêche le mouvement tant que ce dernier est en haut. De même, pour relever *l* il faut que L ait été lui-même relevé; c'est-à-dire qu'il faut ouvrir le circuit de ligne avant d'ouvrir le circuit de champ.

La figure 151 nous montre, à droite, la disposition adoptée pour le réglage des feeders; un seul groupe y est indiqué; il en existe 10 semblables. I, I sont des interrupteurs à verrou; R, R les rhéostats des feeders; V, V des voltmètres reliés par les fils *f*, *f* aux embranchements des abonnés.

§ 167. **Usine de la Mauerstrasse à Berlin.** — Ce qu'il y a de plus intéressant dans cette usine, c'est l'installation de 4 groupes de moteurs et de dynamos de 400 chevaux tournant avec une vitesse de 80 tours par minute. Les dynamos à courant continu sont à inducteurs radiaux et à armature extérieure. Chaque dynamo a 10 pôles, le diamètre de l'armature est de 3 m., celui du collecteur 1,50 m.

Il existe 10 porte-balais. Deux leviers servent pour la manœuvre des balais : l'un règle tous les balais à la fois; l'autre sert à les appliquer sur le collecteur. Chaque paire de pôles constitue, avec la partie de l'armature et les porte-balais correspondants, une section formant une machine indépendante, et ces différentes sections sont groupées en quantité. Les dynamos sont directement actionnées par des moteurs verticaux du type Corliss.

Le réseau est alimenté par 42 paires de feeders d'après le système à 2 conducteurs. On a adopté l'emploi de feeders avec réseau de distribution pour diminuer autant que possible les variations de potentiel; ce résultat a été atteint grâce au grand nombre des feeders. La plus forte variation de potentiel admise dans le réseau de distribution est 1,5 p. 100. Dans les feeders à pleine charge, elle est de 15 volts. Toutes les dynamos sont groupées en quantité,

Digitized by Google

et elles envoient leur courant directement dans les feeders.

Les câbles sont formés de torons recouverts de jute avec enduit de bitume. Par-dessus est une chemise de plomb recouverte d'une composition isolante et armée de 2 spirales croisées en fer. Ils sont placés sous trottoirs sans aucune protection. Les embranchements se font par des boîtes en fonte et sans emploi de soudures. Ces câbles ont donné de mauvais résultats; le plomb a été percé et le cuivre a été attaqué. On pense que le plomb a formé avec le fer un élément galvanique.

Quand on veut introduire dans le circuit une nouvelle dynamo, pendant la marche du courant, on la fait d'abord fonctionner sur une résistance; on règle le courant excitateur jusqu'à ce que l'équilibre soit établi avec les autres machines; c'est alors qu'on introduit la machine dans le circuit; puis on retire la résistance auxiliaire. De cette façon, on évite de fortes étincelles aux balais, et l'on empêche que le courant des autres ne fasse marcher la nouvelle machine en sens inverse comme moteur. On se sert également de la résistance auxiliaire pour retirer une machine du circuit. Un commutateur est établi dans ce but.

Digitized by Google

CHAPITRE IV

CANALISATION

CANALISATIONS AÉRIENNES

§ **168. Fils.** — Les fils de cuivre nus sont affectés ordinairement aux canalisations aériennes ; ils ont de 4 mm. à 5 mm. de diamètre. Quand on a besoin de sections plus grandes, on emploie des torsades de fil fin. De cette façon, un accident arrivé à un fil ne compromet pas le reste du conducteur. On se sert souvent aussi de lames ou de prismes en cuivre. Quand la section est plus grande que 150 à 200 mm^2., il vaut mieux employer plusieurs conducteurs.

Le Syndicat professionnel des industries électriques a rédigé comme il suit les précautions à prendre pour les canalisations aériennes :

« Les fils employés en plein air peuvent être nus. Dans ce cas, ils seront placés sur isolateurs en porcelaine ou autre substance équivalente comme isolement, et attachés à ces isolateurs. Ils seront écartés le plus possible des masses métalliques telles que gouttières, tuyaux de descente, etc. S'ils passent nécessairement à moins de 10 cm. de ces masses, ils doivent en être séparés par un isolant convenable.

« L'entrée dans les bâtiments des fils venant de l'exté-

Digitized by Google

rieur se fera de bas en haut, de manière à éviter la pénétration de l'eau de pluie le long du fil.

« Les fils nus seront placés hors d'atteinte et disposés de manière que les fils d'aller et de retour du courant ne puissent être mis en contact accidentellement. »

§ **169. Poteaux.** — Les poteaux destinés à supporter les lignes aériennes sont en bois de pin ou de sapin injecté de sulfate de cuivre. En Belgique on injecte les poteaux avec de la créosote ; on emploie 250 à 280 litres par mètre cube de bois. Leur diamètre varie avec la hauteur. Voici les dimensions adoptées par les chemins de fer français :

HAUTEUR des poteaux	HAUTEUR enfouie dans le sol.	DIAMÈTRE à un mètre de la base.
m.	m.	m.
6	1,50	0,12
7	1,50	0,16
8	2	0,18
9	2	0,20
10	2	0,22
11	2	0,24
12	2,50	0,26

Quand l'effort exercé sur un poteau est trop considérable, par exemple, dans les courbes, on le maintient par une contrefiche ; ou bien on le forme de deux poteaux jumelés et réunis par des brides en fer.

Fig. 153.

Dans quelques pays, où les bois sont exposés à être détruits par la pourriture ou les insectes, on emploie des poteaux en fer. Les formes sont assez variées. Quelquefois c'est un simple fer T. Souvent on se sert de 2 bandes de tôle, assemblées à rivets et présentant la section représentée par la fig. 153.

Digitized by Google

Une autre disposition consiste en une série de tubes en tôle emboîtés comme un télescope et supportés par une embase en fonte qui s'adapte dans le tube de fer.

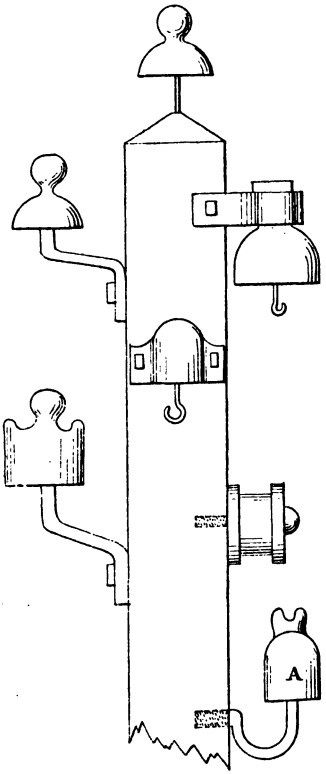


Fig. 154.

Dans les villes on ne se sert pas de poteaux, à cause de la gêne qu'ils procurent à la circulation et du mauvais effet qu'ils produisent au point de vue décoratif. Quand on n'a pas recours aux lignes souterraines, on se sert de consoles en bois ou en fer fixées aux murs. Souvent les fils sont placés au-dessus des maisons et soutenus par des supports en fer ou des consoles scellés dans les toitures ou dans les cheminées. Un inconvénient de ce système est le bruit produit par les vibrations des fils.

§ 170. **Isolateurs.** — Entre les supports et les fils on interpose des isolateurs. Ces appareils se font en porcelaine à base de kaolin pur et entièrement émaillée. Ils doivent se nettoyer facilement; car la poussière qui s'accumulerait à leur surface finirait par établir une communication entre le fil et le support. Il en existe beaucoup de types. Nous en avons réuni quelques-uns sur la fig. 154. Nous prendrons pour exemple celui qui est représenté en

Digitized by Google

A; et que nous montrons en coupe fig. 155. L'isolateur est supporté par une console en fer qu'on place dans un mur ou qu'on visse dans un poteau. La tête de la console est scellée au plâtre dans l'isolateur. Quand le fil est droit, il repose dans la rainure *t* de la tête. On le maintient par une ligature en fil de fer qu'on attache à la gorge *g* et qu'on replie sur le conducteur.

Quand la ligne est courbe, le conducteur s'appuie sur la gorge *g* (fig. 156); il est maintenu par une ligature en fil de fer enroulée autour de la gorge. Il faut, dans ce cas, que l'effort de traction soit supporté tout entier par l'isolateur lui-même, sans que la ligature y contribue. En ligne droite, et pour des fils de cuivre ayant jusqu'à 4 mm. de diamètre, la distance des poteaux ne doit pas dépasser 50 m. Dans les courbes et pour les fils de plus forts diamètres, cette distance doit être diminuée.

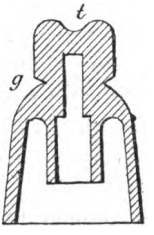


Fig. 155.

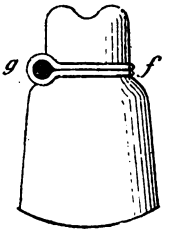


Fig. 156.

Isolateur Johnson Philips. — Ces isolateurs (fig. 157) sont destinés aux lignes exigeant une isolation parfaite. Ils sont en porcelaine; le rebord inférieur se recourbe intérieurement de manière à produire une rigole dans laquelle on met de l'huile. Si la surface extérieure se couvre d'humidité, la couche d'huile forme solution de continuité et s'oppose au passage de l'électricité. Si de la vapeur d'eau vient se condenser à l'intérieur de l'isolateur, l'eau coule au fond de la rigole en vertu de sa densité, et la couche d'huile reste toujours à sa surface. Le godet étant recouvert par la cloche de l'isolateur, le liquide est protégé contre la poussière. Ces appareils ont été employés avec succès pour des distributions à potentiel très élevé, entre autres pour les expé-

Digitized by Google

riences de Francfort, dont nous parlerons plus loin, et dans lesquelles la tension a dépassé 15 000 volts. On les emploie depuis assez longtemps pour les lignes télégraphiques dans certaines contrées de l'Inde où l'on est exposé à des ouragans de poussière.

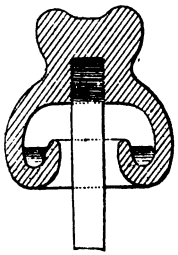


Fig. 157.

§ **171. Tension des fils.** — Entre deux poteaux le fil se courbe en forme de chaînette par l'effet de la pesanteur. Il est nécessaire de réduire la flèche au minimum; mais on ne peut dépasser une certaine limite sans compromettre la solidité du fil. La formule suivante permet de calculer l'écartement des supports et la flèche en fonction de la tension maxima qu'on s'impose et du poids du fil.

L écartement des supports, en mètres; P poids, en kg. de 1 mètre du fil; *f* flèche, en mètres.

$T = \frac{1}{4}$ de la résistance à la rupture par millimètre carré en kg.

$$f = \frac{P\,L^2}{8\,T}.$$

La flèche est ordinairement de 0,75 m.

Bronze phosphoreux. — Le cuivre pur ne s'écrouit pas à la filière, il s'allonge indéfiniment sous des charges très faibles. Aussi la limite de tension mécanique qu'on peut lui donner est fort basse, et dans les lignes aériennes on est obligé de rapprocher beaucoup les supports. C'est une forte dépense, et dans les villes, une source continuelle de difficultés avec les propriétaires des maisons.

Mais quand on ajoute au cuivre une petite quantité de phosphore, on augmente beaucoup sa résistance à la traction, sans diminuer sensiblement sa conductibilité électrique,

Digitized by Google

on peut donc de cette façon donner une plus grande tension aux conducteurs et réduire le nombre des poteaux.

Il résulte d'expériences faites en Angleterre par le Post-Office, en 1878, sur plusieurs lignes établies avec cet alliage, que sa conductibilité peut atteindre celle du cuivre du commerce, et que sa résistance peut égaler celle de l'acier.

On fabrique des fils de diverses sortes présentant :

	Conductibilité	Résistance mécanique
(1)	25 %	80 par mm².
(2)	30 %	75 —
(3)	35 %	70 —
(4)	50 à 55 %	60 —
(5)	80 %	50 —
(6)	95 à 98 %	45 —

Comme on le voit, la résistance mécanique varie en sens inverse de la conductibilité. Les fils (1), (2), (3) servent aux lignes téléphoniques urbaines, (4) aux lignes téléphoniques à grande distance, (5) aux lignes télégraphiques, (6) à la lumière et à la transmission électrique de l'énergie.

Les conditions imposées aux fabricants, en 1884, par l'Administration des Télégraphes, sont :

Conductibilité 95 % du cuivre pur; et 45 kg. de résistance par mm²., pour le fil télégraphique.

Conductibilité 25 %; résistance 75 kg., pour les fils téléphoniques.

Bronze silicieux. — Le silicium ajouté au cuivre produit un effet analogue à celui du phosphore. On peut de même obtenir différents résultats, suivant que l'on recherche la résistance mécanique ou la conductibilité; en voici quelques exemples :

FILS DE BRONZE SILICIEUX TÉLÉGRAPHIQUES :

	Conductibilité	Résistance à la rupture
(1)	97 à 99 %	45 kg. par mm².
(2)	80 à 90 %	55 à 58 —

Digitized by Google

FILS DE BRONZE SILICIEUX TÉLÉPHONIQUES :

Conductibilité	Résistance à la rupture
(3) 43 %	80 à 85 kg. par mm².
(4) 21 %	110 à 115 —

Un fil de bronze silicieux de 2 mm. pesant 28 kg. par kilomètre peut remplacer, au point de vue électrique, un fil de fer de 5 mm. pesant 155 kg.

Pour tendre les fils on se sert d'une moufflette et d'une pince spéciale. Cette opération est malaisée quand le diamètre dépasse 5 mm. Dans ce cas, on emploie un câble; ou bien on remplace le conducteur unique par plusieurs fils fins tordus. On les tend, et on les attache aux isolateurs, puis on les tord ensemble avec une petite barre de fer qu'on passe entre eux à égale distance des points de suspension.

§ 172. **Raccords.** — Les raccords exigent beaucoup de soins; car il est indispensable qu'il n'existe aucune solu-

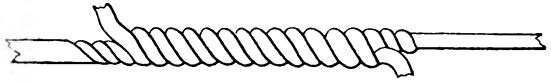


Fig. 158.

tion de continuité dans un conducteur. Aussi les liaisons ne se font jamais que par soudure. La fig. 158 montre la disposition adoptée. Les 2 conducteurs sont attachés par un fil de cuivre. Ce fil et les deux bouts des conducteurs doivent être bien décapés, et l'on réunit le tout par une soudure. Pour les fils fins, on se borne à enrouler les 2 bouts l'un sur l'autre sans fil d'attache. Quant aux câbles, on réunit leurs bouts par une épissure avant d'appliquer la soudure.

Pour embrancher un fil fin sur un conducteur principal,

Digitized by Google

on enroule le bout du fil autour de celui-ci. Si le fil a un fort diamètre, on applique son extrémité sur le conducteur, et l'on fait une ligature comme l'indique la fig. 159. Le tout est relié par une soudure.

Si les fils qu'on veut réunir sont isolés, on enlève la matière isolante sur une longueur suffisante, et l'on décape les surfaces métalliques à l'émeri. Quand la soudure est opérée, on remplace l'isolant par un ruban goudronné ou ciré. La soudure est formée de 2 parties d'étain pour 1 de plomb.

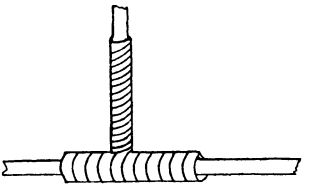


Fig. 159.

Pour opérer la jonction des conducteurs, au lieu de procéder comme nous avons vu précédemment, on emploie quelquefois des pièces métalliques spéciales dans lesquelles on engage les bouts des fils, et qu'on nomme *serre-fils*. Les conducteurs sont maintenus par des vis. La fig. 160 montre quelques-unes de ces dispositions, sans qu'il

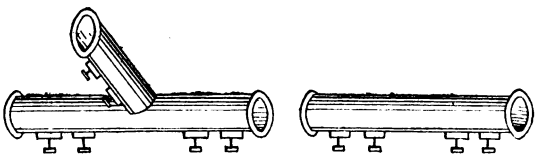


Fig. 160.

soit nécessaire d'ajouter aucune explication à ce sujet. Ce système est commode dans les installations provisoires.

On emploie aussi pour manchon de raccord un petit tube en cuivre percé d'un trou latéral. On enfonce les conducteurs dans ce tube et l'on coule de la soudure dans le trou latéral.

Digitized by Google

Enfin, pour engager facilement les bouts des câbles sous les bornes, vis, commutateurs, etc., on soude à ces extrémités des pièces massives en cuivre auxquelles on donne la forme d'un prisme ou d'une boucle suivant les applications.

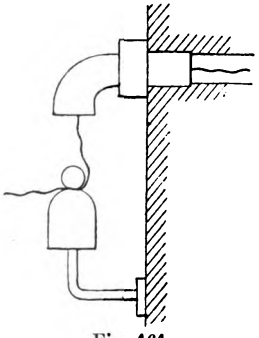


Fig. 161.

Entonnoirs d'introduction. — Ces appareils (fig. 161) sont destinés à faire pénétrer les conducteurs dans les bâtiments. Ils sont en porcelaine ou en ébonite. Pour empêcher que l'eau ne s'introduise en suivant le fil, on fait entrer celui-ci de bas en haut, et pour l'isoler du mur, on place derrière l'entonnoir un tube de caoutchouc durci. Le fil est attaché à un isolateur sous l'entonnoir.

CANALISATION DANS LES HABITATIONS

§ 173. **Pose des fils.** — Il existe plusieurs moyens d'attacher les fils aux murs. Dans les locaux secs, on peut se servir de tasseaux ou de planchettes en bois creusés d'une rainure où s'engage le fil. Quand on est tout à fait à l'abri de l'humidité, on se contente de crochets émaillés enfoncés dans le mur; mais il est toujours bon de préserver l'isolant par un bout de tube en caoutchouc, à l'endroit où porte le crochet.

Pour supporter plusieurs câbles parallèles, par exemple, dans les stations centrales, on les maintient entre 2 semelles en bois assemblées à boulons (fig. 162). Les câbles passent dans des manchons en porcelaine. Ces

Digitized by Google

semelles en bois sont placées de distance en distance et scellées aux murs.

On emploie avec avantage des boutons en porcelaine fixés aux murs. Ces boutons ont une ou plusieurs gorges suivant le nombre de fils qu'ils doivent recevoir. Plusieurs

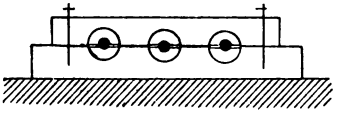


Fig. 162.

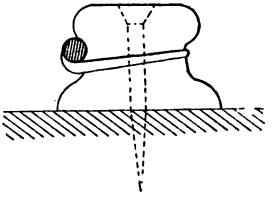


Fig. 163

boutons sont quelquefois réunis sur un socle en porcelaine. Pour fixer le conducteur sur un bouton, on l'attache par une ligature en fil de fer galvanisé passée autour de la gorge (fig. 163). Quand on doit soutenir de nombreux conducteurs parallèles, on les passe sur des poulies en por-

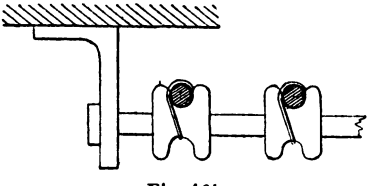


Fig. 164.

celaine analogues aux boutons ci-dessus et embrochés sur une tige en fer (fig. 164). Les fils sont tenus par des ligatures. Dans les lieux très humides, au lieu de boutons, on emploie des isolateurs à cloches comme ceux qui ont été décrits pour les lignes aériennes § 170. Pour la traversée des murs humides, le conducteur est protégé par un tube

Digitized by Google

de verre ou plutôt de gutta-percha. Dans les murs secs, cette précaution n'est pas nécessaire.

La distance de 2 conducteurs parallèles est de 2 à 3 cm. pour les petits diamètres; elle est de 5 à 6 cm. pour les autres.

Les conducteurs doivent être placés bien en vue et de façon à ce qu'on ne puisse pas confondre les positifs et les négatifs. On adoptera, par exemple, un côté pour les positifs et l'autre pour les négatifs; et si les rubans qui les recouvrent ont différentes couleurs, on prendra toujours la même pour le fil du même signe. On évite de croiser les conducteurs autant que possible. Le § 160 indique les règles admises par la Chambre syndicale des industries électriques pour l'installation des fils.

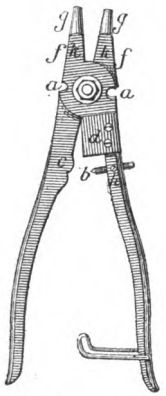


Fig. 165.

Pince universelle de M. O. May. — Cet outil peut être très utile aux monteurs électriciens. Il comporte une pince coupante *a* pouvant couper des fils ayant jusqu'à 5 mm. de diamètre, un poinçon *b*, une lame coupante *d*, pour couper les isolants ou les tubes de plomb, des racloirs *f* pour dénuder les fils, des pinces plates *k*, et des pinces rondes *g*. La longueur de l'outil est 21 cm. et le poids 330 gr.

CANALISATIONS SOUTERRAINES

§ 174. **Considérations générales.** — La question des canalisations souterraines est de la plus grande importance. C'est le seul mode qui soit en usage à Paris et dans beaucoup de villes. Le programme à remplir offre de graves

Digitized by Google

difficultés. Il faut, en effet, que les câbles soient parfaitement isolés, qu'ils soient protégés contre les chocs et les tassements, qu'on puisse y faire facilement les visites et les travaux de réparation, de raccord et de branchement. On doit aussi, dans une installation de ce genre, prévoir les accroissements futurs du réseau. En outre, les dépenses exigées par ces canalisations étant considérables, on doit chercher à les réduire autant que possible, tout en faisant le nécessaire pour éviter les réparations qui sont toujours très difficiles dans les rues.

Deux systèmes sont employés :

1° Les câbles armés, dans lesquels le conducteur de cuivre, parfaitement isolé, est protégé par une armature de plomb, de fer ou d'acier. Ces câbles sont placés directement sous le sol, sans aucune protection.

2° Le conducteur est enfermé dans une enveloppe qui sert à le garantir. Dans ce but on emploie des tuyaux et des caniveaux en fonte ou en fer. Dans certains cas les câbles sont recouverts d'une enveloppe isolante; d'autres fois ils sont nus et portés par des isolateurs; enfin ils sont quelquefois noyés dans une composition bitumineuse qu'on verse dans le caniveau.

Les tuyaux de fer se comportent bien dans les terrains argileux. Il n'en est pas de même dans un sol perméable, ou imprégné de substances organiques.

Il existe quelque incertitude au sujet des chemises de plomb. On sait que ce métal résiste bien dans le terrain ordinaire pour les conduites d'eau et de gaz. Mais, dans le voisinage des égouts, il faut les protéger par une enveloppe de bois remplie de résine. Le plomb se détruit facilement dans un sol poreux, humide et contenant des matières organiques en décomposition. On peut citer des exemples de câbles munis d'une chemise de plomb qui ont résisté pendant quelques années et qui se sont ensuite

Digitized by Google

détériorés. A Berlin, comme nous l'avons vu § 167, on a employé des câbles sous plomb avec armature en fer qui ont été détruits au bout de peu de temps.

Au voisinage des canalisations à courant continu, on a constaté de fréquents accidents. Ainsi les conduites de gaz en fonte et en plomb établies à proximité sont souvent criblées de trous. De plus, le caniveau renfermant les câbles électriques est rempli, en ces endroits, d'une grande quantité de sels de soude et de potasse. Ordinairement les parties endommagées de la canalisation sont les branchements secondaires établis avec moins de précautions, et dans lesquels on se borne à placer simplement les câbles sans isolateur. Les tuyaux de plomb attaqués sont les branchements qui sont souvent très voisins des câbles. Des explosions se sont produites dans certains cas. Voici comment on peut expliquer ce fait.

S'il existe un point faible dans l'isolement du câble, soit que l'enveloppe isolante présente quelque défaut, soit que le câble soit nu et repose sur un isolateur imparfait, ce défaut va sans cesse en augmentant, et une action électrolytique, très lente d'abord, s'établit dans les sels qui constituent le sol; elle s'accentue de plus en plus, et les parois des poteries traversées par des matières alcalines deviennent conductrices. Le câble se ronge au contact de ces matières, et une élévation de température se produit. Cette action électrolytique s'exerce en même temps sur les conduites de gaz voisines, qui finissent par se perforer et donner lieu à des fuites et à des explosions.

Ce fait montre tous les soins qu'il faut prendre pour assurer l'isolement des canalisations électriques dans le voisinage des conduites de gaz. On doit, par exemple, renoncer complètement à employer des câbles passant simplement dans des poteries, et même, si l'on se sert de câbles isolés, il ne faut pas, pour les supporter, se contenter de

Digitized by Google

crochets en fer vitrifiés, qui finissent toujours par se rouiller par suite de l'humidité et qui livrent passage aux sels alcalins. Le caoutchouc vulcanisé et l'okonite donnent de très bons résultats au point de vue de l'isolement et de la durée.

Les systèmes adoptés pour les canalisations souterraines sont très nombreux; en voici quelques spécimens.

§ **175. Système Edison, basses tensions.** — Le modèle de canalisation pour distribution à 3 fils est constitué de la façon suivante : Trois tringles de cuivre, avec interposi-

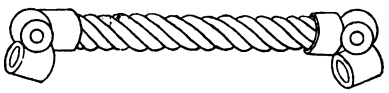


Fig. 166.

tion entre elles de tresses de chanvre, sont placées dans des tubes en fer forgé qu'on remplit ensuite d'un isolant bitumineux. Ces tubes ont 6,23 m. de longueur ; ils sont placés sous la chaussée à une profondeur de 0,60 m. et sont ordinairement recouverts d'une forte planche. A l'extrémité de chaque tube les tringles dépassent un peu. Pour les relier entre elles, on se sert d'une sorte de câble flexible (fig. 166), dont les bouts sont munis de manchons où viennent s'assembler les tringles; la liaison est consolidée par une soudure. Des boîtes de jonction en fonte servent pour relier entre elles les sections du conducteur et pour opérer les branchements. La figure 167 montre un appareil de cette nature. On engage dans la boîte les extrémités des tubes qu'on veut assembler entre eux; on fait les joints, on visse le couvercle, et l'on remplit la boîte d'une composition isolante fondue. Des regards sont disposés de distance en distance.

Digitized by Google

Ce système est employé en Amérique depuis plusieurs années.

§ 176. Canalisation Edison. Station de l'avenue Trudaine. — La distribution dans ce secteur se fait, comme nous l'avons vu § 166, à basse tension, par feeders et par le système à trois conducteurs. On avait donc à conduire dans chaque direction un conducteur de distribution et plusieurs feeders venant s'y rattacher en des points successifs, ce qui nécessitait un certain nombre de câbles placés paral-

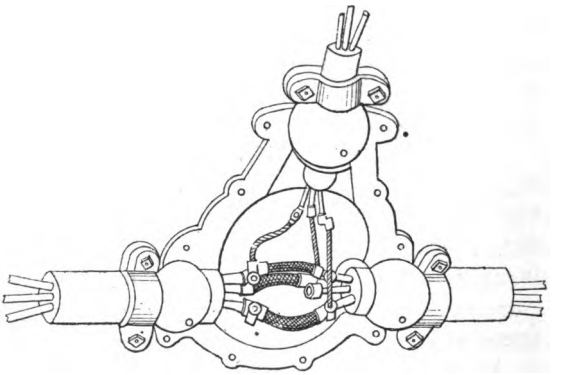


Fig. 167.

lèlement. Pour diminuer les dépenses, on les a tous logés dans un même caniveau en béton. La disposition est indiquée en coupe et en plan sur la fig. 168.

Un des câbles est posé sur un isolateur I; sur ce câble est placée une plaque en porcelaine P échancrée, qui sert à le maintenir et qui porte le câble suivant. Celui-ci est maintenu de la même façon, et ainsi de suite. On forme ainsi une pile verticale de câbles séparés entre eux par des plaques isolantes. Chaque pile est maintenue par 4

Digitized by Google

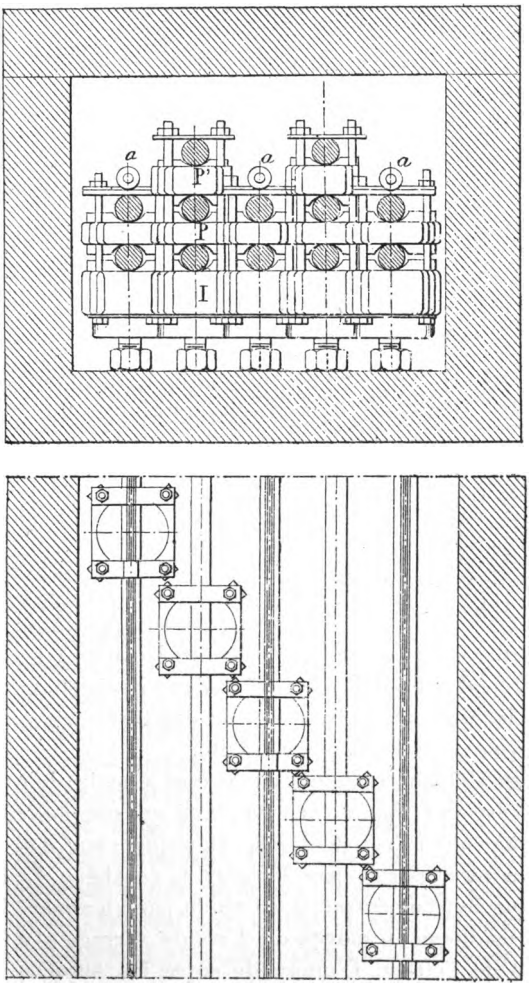


Fig. 168.

Digitized by Google

boulons en fer enfilés dans des trous percés dans la cloche d'en bas et s'encastrant dans des échancrures ménagées aux angles de chaque plaque. Au sommet est un chapeau maintenu par 4 boulons. Sur ce chapeau s'appuient des écrous qui serrent tout l'ensemble. En *a*, *a* se trouvent des poulies en porcelaine supportant les fils auxiliaires qui relient les points d'embranchement aux voltmètres placés dans l'usine.

§ **177. Système Crompton, basse tension.** — Ce système est destiné à la distribution à basse tension.

Le conducteur est formé d'un ruban de cuivre ayant environ 0,025 m. de largeur et 0,006 m. d'épaisseur (fig. 169).

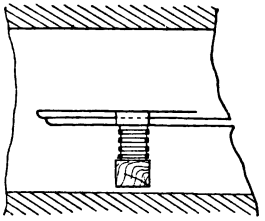


Fig. 169.

On ouvre une tranchée sous trottoir, à environ 0,50 m. de profondeur; on y construit une rigole en béton de 0,37 m. de large avec enduit en ciment. Des regards sont ménagés aux angles des rues et aux points de branchement. Le ruban est porté par des isolateurs en verre, dont le haut est muni à cet effet d'une profonde encoche. Les isolateurs sont fixés à vis sur des traverses en chêne établies près du fond de la conduite.

La fig. 170 montre l'appareil servant à tendre le conducteur. C'est un étrier en bronze percé en son milieu pour le passage du ruban de cuivre. Il s'ajuste sur des isolateurs en verre portés par 2 traverses en chêne. Le ruban passe par le trou central; il est tendu par un appareil spécial et maintenu au moyen de 2 vis de serrage placées au sommet de l'étrier. L'intervalle entre les supports peut atteindre 15 à 20 m.

Pour les branchements des maisons, on emploie des fils

Digitized by Google

recouverts de caoutchouc et renfermés dans des tuyaux de 0,037 m. de diamètre.

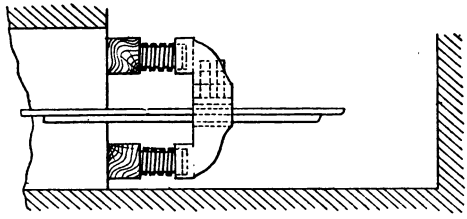


Fig. 170.

§ 178. **Système de la Saint-James's and Pall Mall Electric Lighting C°, basses tensions.** — La distribution est à 3 fils et à basse tension. Les conducteurs sont formés de bandes de cuivre nu placées sur isolateurs dans des conduites en fonte. Comme l'indique la figure 171, la conduite est formée d'une cuvette ayant 0,25 m. de large sur 0,15 m. de hauteur; elle est fermée par un couvercle cintré avec joint de chanvre et minium. La longueur des tuyaux est 1,06 m.; ils sont réunis par des pièces de même profil ayant 0,125 m. de long; le joint se fait au plomb. Des isolateurs en porcelaine sont disposés à des distances de 2,75 m. Des regards en briques et ciment sont établis tous les 30 mètres. Les tuyaux y arrivent avec une certaine pente, pour l'écoulement de l'eau que l'on vide de temps en temps. Pour établir les branchements des habitations, on perce le couvercle et l'on y visse un tube. Le conducteur du branche-

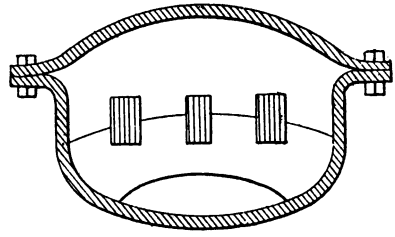
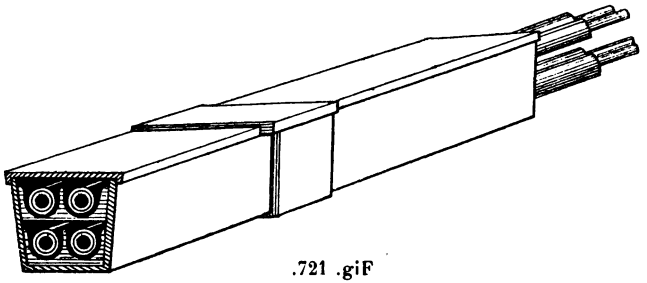


Fig. 171.

Digitized by Google

ment est enveloppé de caoutchouc vulcanisé et il est soudé au conducteur principal.

§ **179. Système de la Callender Bitumen Company.** — Ce système comporte un caniveau en bois (fig. 172), muni de pièces transversales avec encoches pour recevoir les câbles. Ensuite la conduite est remplie de bitume. Celui-ci constitue un très bon isolant, et son élasticité lui permet de se prêter aux mouvements du sol. La Compagnie, dans



.721 .giF

ses stations centrales, remplace les caniveaux en bois par du fer. Les portions, ayant 1,80 m. de longueur, sont réunies par des joints à recouvrement avec boulons. Aux points de branchement sont placées des boîtes en fonte. Les câbles, interrompus aux orifices de la boîte, sont réunis par une pièce en bronze où s'adapte l'embranchement.

§ **180. Système de l'Administration des télégraphes, en France.** — On emploie des tubes en fonte se raccordant, comme les tuyaux de conduite d'eau, par emboîtement, avec joint au plomb. Tous les 100 mètres sont placés des manchons d'un diamètre plus fort, de sorte qu'ils peuvent glisser sur la conduite et permettent de visiter la ligne. Des regards en maçonnerie sont disposés tous les 500

Digitized by Google

mètres. L'inconvénient de ce système est que pour les réparations on est obligé de desceller et de briser les tuyaux.

§ 181. **Système Delperdange.** — Le procédé inventé par M. Delperdange et adopté en Belgique est d'un emploi plus facile. Les tuyaux en fonte ont une longueur uniforme de 3 mètres. Ils sont percés sur toute leur longueur d'une fente longitudinale par laquelle on introduit le câble. Pour la fermer, on y passe un fer T dont les joues s'appliquent à l'intérieur sur les bords de la fente.

Le vide de la fente est rempli avec un mastic formé de soufre, sel ammoniac et limaille de fer. A des distances fixes les tuyaux sont munis d'une tubulure verticale servant de regard.

§ 182. **Système de la station des Halles centrales.** — Les câbles sont installés dans des caniveaux en ciment ayant 0,25 m. sur 0,30 m. dans œuvre et placés sous les trottoirs. Des rainures transversales ménagées à 1,50 m. de distance reçoivent des cadres en bois verticaux munis de crochets en fonte vitrifiée qui supportent les câbles.

Pour les courants à basse tension, les câbles sont formés de fils de cuivre étamés, tordus, recouverts de caoutchouc pur; puis vient une couche de 0,002 m. de caoutchouc préparé, et enfin 2 bandes de ruban caoutchouté. Le tout est vulcanisé ensemble et entouré d'une enveloppe en chanvre imbibée de résine. Ces câbles sont calculés pour une densité moyenne de 2 amp. par millimètre carré et une chute de potentiel de 10 volts. La résistance d'isolement doit être de 300 meghoms par kilomètre à 24°.

Les câbles à haute tension sont disposés de la même façon. Mais dans quelques rues on s'est servi des égouts pour ces conducteurs. Comme il s'y trouve déjà des fils

Digitized by Google

téléphoniques et télégraphiques, on a dû, pour éviter les effets d'induction, employer des câbles concentriques. Voici comment ils sont formés :

Une âme de cuivre comprenant 19 fils de 2 mm.; 2 couches de caoutchouc pur; plusieurs épaisseurs de fibres vulcanisées. Puis vient le second circuit formé de fils de cuivre enroulés en hélice, 2 couches de caoutchouc pur, plusieurs épaisseurs de caoutchouc vulcanisé, 2 bandes vulcanisées enroulées en sens inverse, une couche de 3 mm.

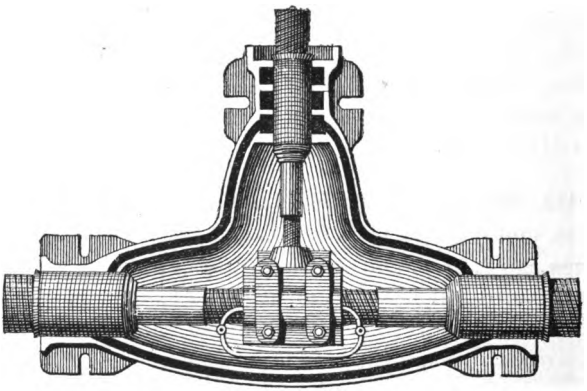


Fig. 173.

de chanvre imprégné de résine, 2 rubans de coton. Enfin un tube de plomb de 2,5 mm. entouré d'une corde tressée.

Le câble est logé dans des moulures en bois injecté encastrées dans la maçonnerie de l'égout.

§ **183. Système Siemens, hautes tensions.** — Pour les hautes tensions, Siemens emploie des câbles concentriques, composés de 2 séries de fils, dont l'une est placée au centre et l'autre à la circonférence. Autour du noyau de cuivre central on met une couche épaisse de jute qui est

Digitized by Google

imprégnée d'un bitume additionné d'huile lourde ; le second rang de fils de cuivre est placé sur cet isolant ; puis on applique une seconde couche isolante et un tube de plomb. Ce dernier est recouvert d'un guipage, puis d'un double enroulement de bandes de fer en spirales, et enfin d'une couche de fil de jute. Ces câbles se posent directement dans le sol sans aucune protection.

Des boîtes sont disposées pour les liaisons et les embranchements ; elles sont formées de 2 parties assemblées par des boulons. Après avoir fait le joint, on ferme la

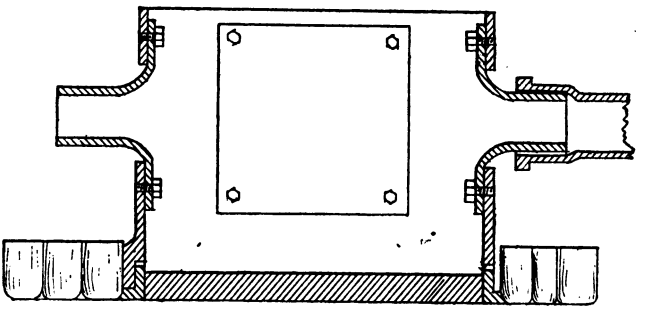


Fig. 174.

boîte, et on la remplit d'huile lourde par un orifice destiné à cet usage. La disposition est représentée par la fig. 173.

A Rome et à Milan, on a employé avec avantage des câbles concentriques pour des tensions de 2 000 volts.

§ 184. Système de la Compagnie House-to-House, hautes tensions. — Les conducteurs sont isolés avec du caoutchouc vulcanisé et un double guipage enduit d'une matière spéciale ; la tension atteint 2 000 volts.

Les câbles sont placés dans des tuyaux en fonte. Les

Digitized by Google

regards en fer ont 0,90 m. de long, 0,50 m. de large, et 0,60 m. de hauteur (fig. 174); chaque face latérale présente une ouverture sur laquelle peut s'adapter une pièce conique servant aux branchements. Les ouvertures qui ne sont pas utilisées à cet usage sont fermées par des plaques. La partie supérieure du regard est bouchée par un tampon en fer.

§ 185. **Câbles pour courants alternatifs.—Modèle Ferranti.** —Avec les hautes tensions résultant de la distribution par transformateurs, il est indispensable que les conducteurs soient parfaitement isolés. Les fils sous plomb doivent être évités; car les courants alternatifs déterminent dans le plomb des effets d'induction aux dépens de l'énergie de la

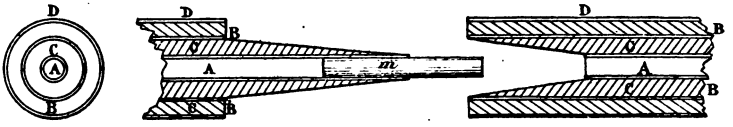


Fig. 175.

source électrique; s'il existe des points faibles, des étincelles s'y produisent et l'isolement se trouve compromis. Les câbles à 2 conducteurs concentriques donnent de bons résultats. Ils ont, il est vrai, l'inconvénient de pouvoir former condensateur; mais les chances de contact à la terre sont moins nombreuses, et les accidents sont moins à redouter; car il est difficile de toucher les deux conducteurs à la fois. Un fil seul traversé par des courants alternatifs produit des perturbations dans les circuits téléphoniques voisins; cet inconvénient n'existe pas avec 2 conducteurs concentriques, dont les actions réciproques se neutralisent.

L'expérience prouve que la densité d'un courant alterna-

Digitized by Google

tif va en diminuant de l'extérieur à l'intérieur d'un conducteur, ce qui amènera à substituer des tubes aux conducteurs pleins. M. Ferranti emploie le modèle représenté par la figure 175.

Un tube en cuivre A de 6 m. de long est recouvert d'une série de bandes en papier C imprégnées de matière isolante. Au-dessus de cette couche est emmanché à force un tube B en cuivre, de même longueur que A; B est recouvert du même isolant, et le tout est renfermé dans un tube en fer D servant d'enveloppe protectrice.

M. Ferranti est d'avis qu'il vaut mieux composer l'isolant de plusieurs couches successives que de le faire d'un bloc de pâte. Avec ce dernier système, une fissure peut exister dans l'épaisseur de la masse; tandis qu'avec plusieurs couches superposées il y a peu de chance qu'elles soient toutes défectueuses au même endroit. Le papier enduit d'un mélange d'huile, de soufre et de paraffine donne un isolant qui résiste aux plus fortes tensions.

On forme ainsi des bouts de tube ayant 6 m. de long. Pour les raccords, chaque tube porte une extrémité mâle et une femelle s'emboîtant l'une dans l'autre, comme l'indique la figure. Pour compléter l'assemblage, on place dans A une tringle en cuivre *m*, et l'on opère le rapprochement avec une presse hydraulique transportable. Le tout est ensuite recouvert d'un manchon en fer. Pour les courbes, on emploie une machine à cintrer analogue à celles qui servent pour les rails de chemin de fer.

§ **186. Câble Ménier concentrique pour courants alternatifs à haute tension.** — Le conducteur central comprend 19 fils de cuivre de 1,9 mm. de diamètre; il est isolé par 2 couches de caoutchouc naturel et 2 couches de caoutchouc vulcanisé; le tout est recouvert de 2 rubans caoutchoutés et d'un enduit spécial. Puis vient le second conducteur

Digitized by Google

formé de 18 torons de 3 fils, ayant 0,7 mm. de diamètre. Ce conducteur est isolé comme le premier.

Ce câble est recouvert d'un tube en plomb de 2,5 mm. d'épaisseur, d'une couche de jute goudronnée et d'une armature en fil de fer galvanisé. Le tout est enveloppé d'une seconde couche de jute enduite d'une composition bitumineuse. Le diamètre extérieur a 0,055 m. Il pèse 8700 kg. par kilomètre. Il peut être posé directement en tranchée. Ce câble résiste très bien à un courant alternatif de 5 000 volts.

§ 187. **Prix d'une canalisation souterraine.** — Le prix d'une canalisation souterraine dépend de trop d'éléments pour qu'on puisse fixer une règle à cet égard. Mais voici quelques chiffres empruntés aux *Leçons sur l'électricité* de M. Eric Gérard. Ces renseignements permettent d'établir une comparaison entre quelques-uns des systèmes usités.

DÉPENSES DE PREMIER ÉTABLISSEMENT D'UN DÉCAMÈTRE DE CONDUCTEURS DOUBLES POUR CIRCUIT A HAUTE TENSION, SOUS LES TROTTOIRS DE LONDRES :

	7 fils cordés	19 fils cordés	19 fils cordés	19 fils cordés	37 fils cordés	2 cordes de 37 fils	4 cordes de 37 fils	6 cordes de 37 fils
Sections en mm²....	14,6	50	104	161,21	322	645	1200	1935
Prix du cuivre à 1,80 fr. le kg.....	4,73	16,20	34,60	51,46	118,00	216	408	614
Prix de l'isolement.....	12,30	27,80	68,00	98,20	194,00	388	775	1135
Enveloppe de bitume et ciment, main-d'œuvre de pose, tranchée et réfection de trottoir, regards et boîtes de distribution, ingénieur et surveillants.....	130,00	145,00	170,00	170,00	194,50	233	370	480
Total par décamètre (fr.)..	147,03	189,00	272,60	319,60	506,50	837	1553	2229

Digitized by Google

DÉPENSES D'ÉTABLISSEMENT DE CONDUCTEURS DOUBLES EN CUIVRE NU PORTÉS SUR DES ISOLATEURS DANS UN CANIVEAU SOUS TROTTOIRS :

Sections en mm².....	161,25	322	615	1290	1645	1935
Prix du cuivre à 1,80 fr. le kg.	51,40	118	216	408	520	645
Pose, isolateurs, regards et boites de raccordement, réfection du trottoir, ingénieur et surveillants.....	204,00	240	240	240	240	250
Total par décamètre (fr.)....	255,40	358	456	648	760	895

ESSAIS DIVERS SUR LES CANALISATIONS

§ **188. Accidents aux conducteurs.** — Les accidents qui se présentent dans une canalisation électrique sont de deux sortes : 1° les court-circuits, c'est-à-dire la communication entre le conducteur positif et le négatif; 2° les pertes à la terre, dues à un défaut d'isolement dans un conducteur.

Pour constater ces avaries, on se sert du galvanomètre de la même façon que nous l'avons vu en parlant des machines § 88. Sur un même fil *m n* (fig. 176) on réunit en tension un galvanomètre G et une pile P, et voici comment on opère dans chaque cas :

1° *Court-circuit.* — Pour rechercher un court-circuit, on rompt la communication entre la dynamo et les 2 conducteurs principaux; on ferme tous les interrupteurs, de façon que le courant puisse circuler dans toutes les dérivations, on démonte les lampes; puis on attache les 2 bouts du fil *m n* aux bornes de la dynamo. S'il y a déviation de l'aiguille,

Digitized by Google

c'est qu'il existe un court-circuit quelque part. Pour le localiser, on interrompt la communication avec tous les circuits dérivés; si l'aiguille ne bouge pas, c'est que le défaut est dans une dérivation; alors on les essaie toutes l'une après l'autre, en les séparant du conducteur principal, jusqu'à ce qu'on obtienne dans l'une d'elles une déviation de l'aiguille. C'est là que se trouve le point faible.

Du reste, quand il existe un court-circuit MN sur une canalisation, ce défaut se fait remarquer par le mauvais

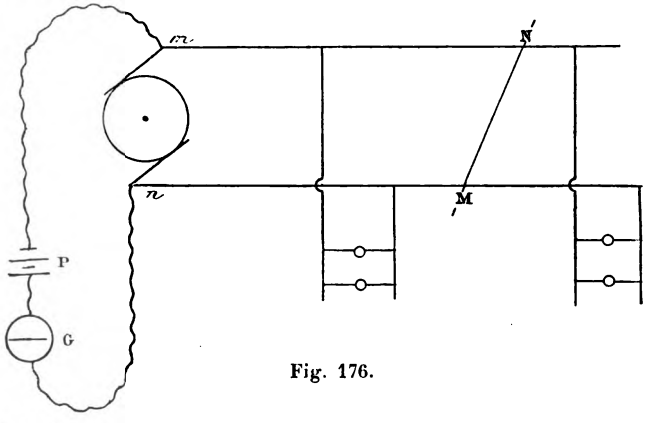


Fig. 176.

fonctionnement des lampes situées à sa droite. Un court-circuit produit toujours une forte élévation de température au point de contact, si cet effet n'est pas prévenu par la fusion du coupe-circuit.

2° *Pertes à la terre ou terres.* — Pour rechercher les pertes à la terre, on rompt la communication entre les conducteurs principaux et les pôles de la dynamo; on démonte toutes les lampes et l'on ferme tous les circuits dérivés; puis on touche une des bornes de la machine avec un des fils du galvanomètre; l'autre est relié à la terre. Si l'aiguille dévie, c'est qu'il existe un défaut.

Digitized by Google

Pour le localiser, on interrompt les communications avec tous les circuits dérivés. Si l'on obtient une déviation, c'est que le défaut existe dans le circuit principal. Enfin, on divise ce circuit en plusieurs sections séparées, et l'on touche chaque bout avec le fil du galvanomètre, jusqu'à ce qu'on voie l'aiguille se déplacer. Le point défectueux se trouve dans la section correspondante. Si l'on n'a rien trouvé dans le conducteur principal, on sépare chaque circuit secondaire, et l'on opère sur chacun de la même façon.

§ **189. Localisation d'un défaut sur une ligne.** — On peut employer le procédé suivant, qui est d'une grande simplicité.

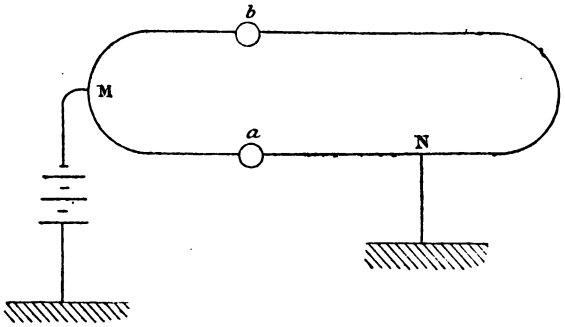


Fig. 177.

Supposons qu'une terre se produise en N (fig. 177) sur une ligne double. Deux ampèremètres *a*, *b* sont intercalés sur les conducteurs au départ de la ligne, et une batterie d'accumulateurs reliée à la terre par un pôle est placée en M. Le courant se ferme donc par le défaut N en suivant les deux dérivations M*b*N, M*a*N.

Les déviations des ampèremètres sont inversement proportionnelles aux résistances des circuits dans lesquels

Digitized by Google

ils sont placés, et, comme les câbles sont identiques, les résistances sont proportionnelles aux longueurs.

Soient x la longueur cherchée MaN; L la longueur totale des 2 conducteurs; a, b les indications des ampèremètres, on a :

$$\frac{a}{b} = \frac{L - x}{x}$$

d'où

$$x = \frac{bL}{a + b}.$$

Procédé de M. Eric Gérard. — On commence par isoler le conducteur, et on relie un de ses bouts à une pile P

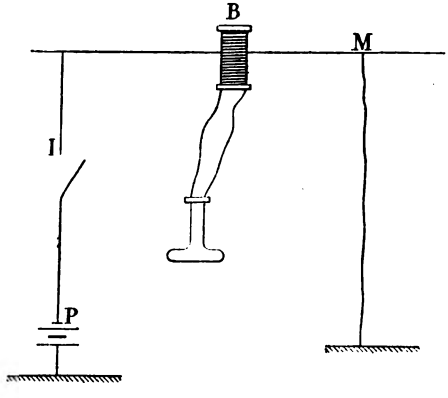


Fig. 178.

(fig. 178), dont l'autre pôle communique avec la terre. En I on place un interrupteur mû par une seconde pile ou par un mouvement d'horlogerie. Son but est de produire un courant intermittent qui suit le conducteur jusqu'au défaut et se rend à la terre.

Le long du conducteur on fait marcher une bobine B à fil

Digitized by Google

fin munie d'un noyau en fil de fer; aux bornes de la bobine on relie un téléphone que l'observateur approche de son oreille. Quand on passe devant le point défectueux M, le son s'arrête. Il faut avoir soin, en promenant la bobine, de la tenir de façon que son fil soit parallèle au conducteur, afin d'obtenir l'effet maximum.

§ **190. Essai des isolateurs.** — Pour essayer les isolateurs, c'est-à-dire pour constater qu'ils ne livrent pas passage au courant, on les place dans une auge (fig. 179).

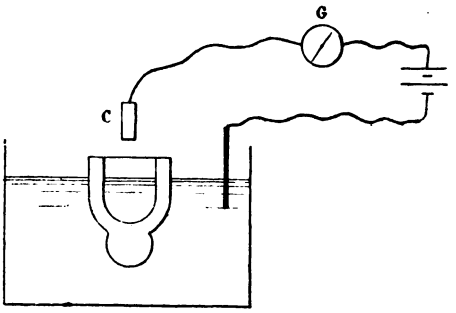


Fig. 179.

On verse de l'eau acidulée dans la cloche et dans l'auge; mais de façon que le niveau du liquide n'affleure pas le bord de la cloche. On met le liquide de l'auge en communication avec le pôle d'une pile. A l'autre pôle on relie un galvanomètre G et une petite plaque de cuivre C. On plonge cette lame dans la cloche à essayer. Le courant ne pouvant passer qu'à travers la porcelaine, on reconnaît par le galvanomètre s'il existe un défaut d'isolement.

Digitized by Google

Digitized by Google

CINQUIÈME PARTIE

TRANSMISSION ÉLECTRIQUE DE L'ÉNERGIE

CHAPITRE PREMIER

TRANSMISSION PAR COURANTS CONTINUS

§ **191. Notions préliminaires.** — Les dynamos, comme nous l'avons vu, sont destinées à transformer un travail moteur en électricité. La réciproque est vraie, c'est-à-dire que ces mêmes machines peuvent servir à changer l'électricité en travail, ce qu'on exprime en disant que les machines électriques sont *réversibles*. Si l'on envoie un courant dans une dynamo, on produit la rotation de son anneau, et l'on peut utiliser ce mouvement à la production d'un travail. Pour expliquer la réversibilité, on n'a qu'à se reporter aux lois d'attraction réciproque entre le courant et les pôles magnétiques. Le courant qu'on envoie dans la machine peut être du reste produit par une source d'électricité quelconque, pile, machine, accumulateur. La distance de la source électrique à la machine n'a d'influence que sur le rendement, et le phénomène s'accomplit quelle que soit la longueur du circuit.

Les conséquences qui résultent de ce fait sont très importantes. Il existe en effet des forces naturelles, comme

Digitized by Google

les chutes d'eau, qu'on ne peut parfois utiliser à cause de la difficulté qu'il y a à établir une usine à proximité. Les transmissions par courroies ou câbles télédynamiques ne sont possibles que dans certains cas et à des distances peu considérables. Dans bien des circonstances le problème sera résolu sans difficulté, en établissant près de la chute d'eau une dynamo commandée par un moteur hydraulique, et en la reliant à une seconde machine placée dans l'usine. Le câble qui unit les 2 dynamos peut être installé facilement et suivre tous les accidents du terrain. On a déjà utilisé de cette façon de nombreuses chutes d'eau, et les exemples se multiplient tous les jours.

Il existe, en outre, une seconde question fort intéressante, et à laquelle l'électricité fournit une solution très simple; il s'agit de la *commande électrique*, nous entendons par ce mot la commande des outils. Dans la plupart des usines, il existe des outils placés loin des moteurs et dans des conditions désavantageuses, exigeant des organes de transmission très compliqués. Beaucoup d'appareils sont destinés à changer de place fort souvent, et chaque fois il faut modifier la commande.

§ **192. Force contre-électromotrice.** — Quand on emploie 2 dynamos pour la transmission de l'énergie, celle qui produit le courant se nomme *génératrice*, celle qui reçoit le courant et le transforme en travail s'appelle *réceptrice*.

Quand la réceptrice reçoit le courant, elle prend un mouvement de rotation, et elle donne naissance à une force contraire à celle qui lui est envoyée, et qu'on nomme *force contre-électromotrice*. En effet, quand elle tourne, elle tend à fonctionner pour son propre compte et à produire un courant de sens inverse à celui qu'elle reçoit. On peut prouver l'existence de cette force de la manière suivante. Dans un même circuit, on intercale un petit moteur élec-

Digitized by Google

trique, quelques éléments de pile offrant peu de résistance et destinés à fournir le courant au moteur, enfin, un galvanomètre. Les indications de l'aiguille ne sont pas les mêmes si on cale le moteur ou si on le laisse tourner, et les déviations diminuent à mesure que le travail demandé au moteur augmente. Cette force contre-électromotrice est du reste toujours inférieure à celle de la génératrice.

§ **193. Rendement.** — Le rendement mécanique d'une transmission est le rapport entre le travail mesuré au frein sur l'arbre de la réceptrice et le travail dépensé par la génératrice qui est indiqué par le dynamomètre.

Ce rendement dépend du travail absorbé par les frottements, du travail transformé en chaleur dans les 2 dynamos et de la résistance du conducteur.

Quand les électromoteurs marchent à pleine charge, leur rendement industriel a généralement les valeurs suivantes :

Moteur de	1 à 10 chev.	rendement	70 0/0
—	10 à 20	—	73 à 75
—	20 à 50	—	81
—	100	—	85

Les électromoteurs ont ordinairement un rendement inférieur de 5 0/0 à celui des génératrices de même puissance.

§ **194. Influence de la distance.** — La longueur du conducteur, c'est-à-dire la distance des 2 machines a une grande influence sur le rendement. M. Boistel l'a prouvé par l'expérience suivante.

On prend 2 machines Siemens identiques, qui peuvent produire, à la vitesse de 900 tours, sur un circuit peu résistant, un courant de 58,5 amp. et 168 volts. Si l'on commence par placer ces machines à une faible distance l'une de l'autre, en les réunissant par un conducteur qui

Digitized by Google

ne présente, pour ainsi dire, pas de résistance, on peut obtenir un rendement mécanique de 54 p. 100.

Si l'on intercale entre ces 2 machines une résistance de 0,5 ohm, équivalente à un fil de cuivre de 4,5 mm. de diamètre et de 416 m. de longueur, on n'obtient plus que 41 p. 100 du travail absorbé par la génératrice. Si l'on élève la résistance à 1 ohm, en intercalant 833 m. de ce même fil, le rendement s'abaisse à 28,8 p. 100. Avec 1,5 ohm de résistance, c'est-à-dire en portant à 1250 m. la longueur du conducteur, il tombe à 15,8 p. 100.

La distance des 2 machines influe donc beaucoup sur le rendement, qui diminue rapidement quand on éloigne les machines, sans changer leurs éléments de construction ni le diamètre du conducteur. Pour y remédier, il existe deux moyens :

1° Diminuer la résistance du conducteur en augmentant son diamètre;

2° Donner aux machines des forces électromotrices très élevées, ce qui permet d'employer des conducteurs de moindre diamètre.

Le premier système présente un grave inconvénient, c'est d'augmenter considérablement les frais d'installation.

Le second procédé est celui des *hautes tensions*. Il a l'avantage de diminuer les frais de premier établissement.

§ **195. Hautes tensions.** — MM. Dumont et Baignères ont exposé comme il suit, devant la Société des Ingénieurs civils, l'avantage que présentent les hautes tensions au point de vue de l'établissement économique de la ligne.

La section du conducteur est donnée par la formule :

$$C = \frac{a\,L\,I}{m}$$

Digitized by Google

C est la section en mm².,
L la longueur de la ligne en mètres,
I l'intensité en ampères,
a un coefficient constant,
m représente en volts la perte de charge subie dans le conducteur ; c'est une fraction qui est égale ordinairement à $\frac{1}{10}$ de la tension E du courant.

Supposons qu'on veuille transporter un nombre de watts égal à W, et admettons que $m = \frac{E}{10}$. On a $W = EI$; et la formule (1) devient :

$$C = \frac{a\,L\,W}{\frac{1}{10}E^2}.$$

On voit donc que, pour transporter une énergie W à une distance L, en admettant une perte de charge déterminée, égale, par exemple, à $\frac{1}{10}$ de la tension, la section des conducteurs varie en raison inverse du carré de la tension initiale.

Si, par exemple, on emploie une tension égale à 2 E, en admettant la même perte de $\frac{1}{10}$ dans la ligne, la section C′ est donnée par

$$C' = \frac{a\,L\,W}{\frac{4\,E^2}{10}}$$

$$\frac{C'}{C} = \frac{1}{4}.$$

On pourra donc donner au conducteur une section 4 fois moindre, ce qui permettra de réaliser une grande économie.

Digitized by Google

Pour obtenir de hautes tensions avec des courants continus, on peut opérer de diverses manières :

1° Donner aux dynamos une grande vitesse de rotation;

2° Adopter pour les électros et les induits des dynamos des fils de faible diamètre;

3° Accoupler plusieurs dynamos en tension.

On ne peut forcer la vitesse des machines au delà d'une certaine limite qu'il est imprudent de dépasser.

La diminution du diamètre des fils complique beaucoup les machines.

L'accouplement de plusieurs dynamos en série donne de bons résultats, mais il entraîne à une complication.

Pour jeter quelque jour sur la question, nous allons rappeler en peu de mots les résultats des principales expériences faites à ce sujet.

§ 196. **Résultats d'expériences.** — Dans les derniers essais exécutés en 1886, entre Creil et La Chapelle, devant la commission de l'Académie des sciences, M. Marcel Deprez avait adopté des fils très fins pour les électros et les armatures de ses dynamos. La ligne avait une longueur de 56 kilomètres et une résistance de 97,45 ohms. Elle était formée de 2 conducteurs en bronze silicieux de 5 mm. de diamètre.

L'intensité était de 6,85 à 9,85 amp.; les forces électromotrices atteignaient 4 887 à 6 290 volts pour la génératrice, et 3 902 à 5 081 volts pour la réceptrice. La puissance motrice dépensée à Creil a été de 66,7 à 116 chev., et celle qu'on a recueillie à La Chapelle a été de 27,2 à 52 chev.; le rendement industriel était donc de 40,78 à 44,81 p. 100.

Ces expériences ont démontré qu'on pouvait transporter une force de 50 chev. à 56 km. avec un rendement de 43 p. 100. Elles ont prouvé la possibilité de faire usage d'une différence de potentiel de 6 300 volts. Mais les résul-

Digitized by Google

tats économiques ont été peu satisfaisants. Car la commission de l'Académie a estimé à 124 800 fr. le prix d'une installation semblable; soit 50 000 fr. pour la génératrice, 30 000 fr. pour la réceptrice, et 44 800 fr. pour la ligne.

M. Desprez avait employé de très grosses machines d'une construction compliquée et dispendieuse. M. H. Fontaine est parti plus tard d'un principe tout à fait opposé; il s'est servi de plusieurs dynamos Gramme, qu'il a simplement reliées en tension : 4 dynamos servaient de génératrices, 3 autres formaient les réceptrices; ces 2 groupes étaient séparés par des fils métalliques présentant une résistance totale de 100 ohms.

Les résultats ont été :

Vitesse des génératrices	1 298 tours.
Différence de potentiel aux bornes de la 1re machine	1 490 volts.
2e machine	1 505 —
3e machine	1 493 —
4e machine	1 508 —
Différence de potentiel aux 2 bornes de la ligne	5 896 —
Intensité du courant	9,34 amp.
Puissance sur le piston de la machine à vapeur	112,8 chev.
Rendement de la machine à vapeur	85 p. 100.
Puissance absorbée sur l'arbre des génératrices	95,88 chev.
Vitesse des réceptrices	1 120 tours.
Puissance recueillie au frein sur l'arbre des réceptrices	49,98 chev.
Rendement industriel	52 p. 100.

Ces expériences prouvent qu'avec 7 dynamos d'un type courant, ayant chacune une différence de potentiel aux bornes de 1 500 volts, on peut transmettre 50 chev. à tra-

Digitized by Google

vers une résistance de 100 ohms, avec un rendement de 50 p. 100. Les 7 machines employées ne coûtaient ensemble que 16 450 fr.

M. Brown a exécuté, en Suisse, des expériences qui ont une valeur tout à fait pratique, en se basant sur les principes de M. Fontaine. La station génératrice est mise en mouvement par une chute d'eau représentant 30 à 50 chev.; elle comprend 2 dynamos du système Brown couplées en série, et donnant, à la vitesse de 700 tours, 1 250 volts et 15 à 18 amp. La ligne est formée de 3 conducteurs en cuivre nu de 6 mm. de diamètre chacun; elle a 8 km. de longueur, et présente une résistance de 9,228 ohms. La station réceptrice comprend 2 dynamos Brown en série. Voici les résultats obtenus :

	Station génératrice.	Station réceptrice.
Intensité du courant en amp.....	11,474	11,42
Force électromotrice en volts....	1836,5	1575,3
Différence de potentiel aux bornes en volts.....	1753,3	1655,9
Puissance mécanique totale en chev.....	30,85	23,21
Rendement industriel des dynamos p. 100.....	88,7	90,3

Le rendement industriel a donc été de 75 p. 100, pour 30 chev. fournis à la station de départ. Il est à remarquer que la ligne est construite en fil nu; mais l'isolation est rendue presque parfaite par l'emploi d'isolateurs du système Johnson et Phillips, § 170. Ces résultats ont été obtenus d'une façon suivie, et pour un fonctionnement de tous les jours.

§ **197. Prix de revient de la transmission électrique.** — D'après ce qui a été dit précédemment, on voit que le pro-

Digitized by Google

blème du transport électrique de l'énergie à grande distance par courants continus offre, au point de vue économique, de sérieuses difficultés. Dans bien des cas, il sera plus dispendieux d'utiliser ainsi une force gratuite que d'installer une machine à vapeur ; le calcul suivant emprunté à M. H. Fontaine peut servir de guide.

Supposons qu'il s'agisse de transporter à 3 km. une puissance de 40 chev. Admettons pour la génératrice les chiffres suivants ordinairement admis en pratique : 1 000 tours pour la vitesse de la dynamo, et 1 500 volts pour sa force électromotrice.

La puissance à transmettre est de 40 chev., soit 3 000 kgm. L'intensité du courant est donnée par

$$T = \frac{E\,I}{g};$$

$$\text{d'où } I = \frac{3\,000 \times 9{,}8}{1\,500} = 19{,}62 \text{ amp.}$$

Admettons 20 amp.

Les dynamos, construites par Gramme pour transporter l'énergie, avec une force électromotrice de 1 500 volts, ont une résistance intérieure de 10 ohms. Comme le passage d'un courant dans un conducteur correspond à un travail égal à $\frac{R\,I^2}{g}$, la résistance de la machine génératrice déterminera une perte de $\frac{10 \times 20^2}{9{,}81}$, ou environ 400 kgm.

Il résulte en outre d'expériences nombreuses que les pertes de travail dues aux frottements mécaniques et à d'autres causes accessoires s'élèvent dans les bonnes machines à environ 10 p. 100 du travail électrique absorbé ou rendu. La génératrice, absorbant 3 000 kgm., en perd 300 de ce chef.

La perte totale dans la génératrice est donc de 400 + 300 ou 700 kgm. ; le travail t transmis au circuit sera ainsi de

Digitized by Google

2 300 kgm.; et la différence de potentiel aux bornes de la génératrice est donnée par :

$$\frac{e\,I}{g} = t;$$

$$\text{d'où } e = \frac{t\,g}{I} = \frac{2\,300 \times 9{,}8}{20}.$$

$$e = 1\,128 \text{ volts.}$$

Prenons pour réceptrice une machine identique à la génératrice; sa résistance intérieure étant de 10 ohms, elle absorbe de ce chef 400 kgm. Il faut y ajouter le travail absorbé par les frottements. Cette perte sera plus petite que dans la génératrice, puisque le travail et la vitesse y sont moindres; d'après l'expérience, ce chiffre est égal aux $\frac{2}{3}$ du premier, soit 200 kgm. La réceptrice consomme donc en pure perte 600 kgm.

Donc sur les 3 000 kgm., les machines en absorbent 1 300; il en reste 1 700 de disponibles.

Calculons maintenant le diamètre du conducteur, et pour faire ressortir l'importance qu'il a dans les frais de première installation, examinons successivement les 3 cas où la puissance disponible sur l'arbre de couche de l'usine doit être de 18, de 20, de 22 chevaux.

Pour avoir sur l'arbre 18 chev., soit 1 350 kgm., il faut que la résistance de la ligne en absorbe seulement 350. Pour calculer cette résistance prenons la formule :

$$T = \frac{R\,I^2}{g}$$

d'où

$$R = \frac{T\,g}{I^2}$$

$$R = \frac{350 \times 9{,}8}{400}$$

$$R = 8{,}6 \text{ ohms.}$$

Digitized by Google

Le conducteur a une longueur totale de 6 000 m.; la résistance par mètre est $\frac{8,6}{6\ 000} = 0,0014$ ohm.

En nous reportant au tableau, § 140, nous voyons que cette résistance correspond à un fil ayant 12 mm². et pesant 112 gr. par mètres. Les 6 000 mètres pèseraient 672 kg.; en comptant 10 fr. le kg., toutes fournitures et pose comprise, la ligne totale vaudrait 6 720 fr.

Faisons le même calcul dans les deux hypothèses de 20 et 22 chevaux disponibles; on peut dresser le tableau suivant:

	NOMBRE DE CHEVAUX DISPONIBLES		
	18	20	22
Résistance totale.....	8,6 ohms	4,9 ohms	1,2 ohm
Section du conducteur....	12 mm².	19,6 mm².	78,54 mm².
Poids par mètre	0,112 kg.	0,175 kg.	0,699 kg.
Poids total.....	672 kg.	1 050 kg.	4 194 kg.
Prix total de la ligne.....	6 720 fr.	10 500 fr.	41 940 fr.

On voit par là à quel prix on peut augmenter le rendement. Pour avoir 4 chev. de plus sur l'arbre, soit 1/10 du travail total, le prix du conducteur augmente dans le rapport de $\frac{41\ 940}{6\ 720} = 6,3$.

Nous verrons plus loin comment le problème de la transmission de l'énergie à grande distance, qui présente des difficultés presque insurmontables avec les courants continus, se trouve résolu d'une façon assez simple lorsque l'on emploie les courants alternatifs.

§ **198. Sens de rotation.** — Si l'on emploie le même type de machine pour la génératrice et la réceptrice, le sens de rotation change avec le mode d'excitation.

Supposons une dynamo excitée en série. Si l'on s'en sert

Digitized by Google

comme génératrice, les réactions qui se développent entre l'anneau et l'induit tendent à empêcher la rotation de l'anneau; il se produit un courant ayant, par exemple, le sens X dans la fig. 180. Changeons maintenant le rôle de cette machine et prenons-la comme réceptrice; si nous lui envoyons un courant ayant le même sens X que précédemment, les réactions entre l'anneau et les électros conservent le même signe; mais comme l'anneau est libre, il obéit à

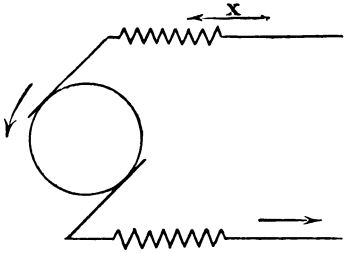


Fig. 180.

ces réactions et tourne dans un sens contraire à celui qu'il avait quand la machine était génératrice.

Si la dynamo est excitée en dérivation, les conditions sont changées. En effet, quand la machine marche comme génératrice, le courant circule, par exemple, dans le sens indiqué par M (fig. 181), et il a dans l'électro placé en dérivation la direction F. Prenons maintenant cette même machine comme réceptrice et envoyons-lui le même courant M (fig. 182), le sens sera le même que précédemment dans l'anneau, mais dans l'électro il aura la direction F'. Le champ de l'électro change donc de signe, les réactions se font en sens contraire que dans la fig. 181, elles agissent dans le sens même du mouvement. La dynamo employée comme génératrice ou comme réceptrice tournera toujours dans le même sens.

Digitized by Google

Pour les dynamos à enroulement compound, le sens de rotation varie suivant la proportion relative des 2 fils. Si le fil en série a une action prépondérante, la machine tourne comme si elle était excitée en série; si l'enroulement dérivé a au contraire la prépondérance, la machine tourne comme si elle était excitée en dérivation.

Une machine à excitation indépendante et une magnéto

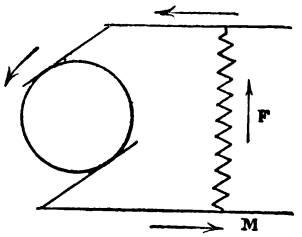


Fig. 181.

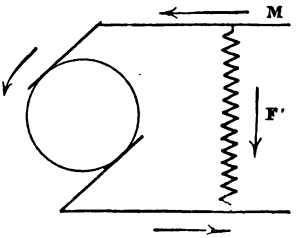


Fig. 182.

se comportent de la même façon qu'une dynamo excitée en série.

§ **199. Calage des balais.** — On a vu § 58 que les balais d'une machine devaient être placés *en avance* dans le sens de la rotation. Il n'en est pas de même quand la machine travaille comme réceptrice.

En effet, reportons-nous à la fig. 53; quand la machine fonctionne comme génératrice elle produit un courant dans un certain sens, et les balais sont calés en avance. Si nous envoyons le même courant dans la machine fonctionnant comme réceptrice, rien n'est modifié dans les rapports des divers éléments entre eux. Les balais conservent donc leur position; mais comme le mouvement a changé de direction, le calage se trouve *en retard* par rapport au sens de rotation.

Digitized by Google

Le même raisonnement s'applique aux machines excitées en dérivation, et par conséquent aux dynamos compound.

En résumé, dans une génératrice les balais sont en avance ; dans une réceptrice, ils sont en retard.

L'angle dépend, dans les deux cas, des valeurs relatives des champs magnétiques de l'anneau et des électros.

Dans quelques circonstances particulières, les valeurs des champs magnétiques devant varier suivant le travail exécuté par la réceptrice, on doit s'arranger pour que la position des balais se modifie constamment selon les variations de ce travail ; sinon il se produirait des étincelles, les balais mettant en court-circuit des lames du collecteur qui possèdent une certaine force électromotrice.

Renversement de marche. — Pour changer le sens de rotation d'une réceptrice il ne suffit pas toujours de modifier la direction du courant. Avec une magnéto ou une dynamo à excitation indépendante ce procédé suffit. En effet, en renversant le courant on change l'orientation du champ magnétique de l'anneau ; mais celle des électros ne varie pas ; le sens du mouvement est donc changé.

Il n'en est plus de même avec une auto-excitatrice, quel que soit, du reste, son mode d'excitation, en série, en dérivation, en double enroulement. Car le changement de sens du courant renverse à la fois les champs magnétiques de l'anneau et des électros ; leurs réactions réciproques ne sont donc pas modifiées, et le sens du mouvement ne varie pas. Il ne faut renverser le courant que dans les électros ou dans l'anneau.

1° Pour renverser le courant dans l'anneau, il suffit de de déplacer les balais. Si la ligne neutre était perpendiculaire à la ligne des pôles NS, il faudrait tourner les balais de 180° pour faire marcher la machine en sens contraire. Nous avons vu que les balais d'une réceptrice doivent être calés

Digitized by Google

en arrière du mouvement. Soit α l'angle de calage, l'angle de déplacement des balais sera $180^o - 2\alpha$.

En effet, si l'anneau marche d'abord dans le sens indiqué par la fig. 183, la ligne des balais sera placée en C D.

Changeons le sens de rotation (fig. 184), la ligne des balais viendra en D'C'; l'angle parcouru par cette ligne pour venir de la première position à la seconde sera $180^o - 2\alpha$.

L'inconvénient de ce procédé est que dans une des deux

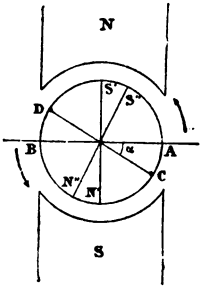


Fig. 183.

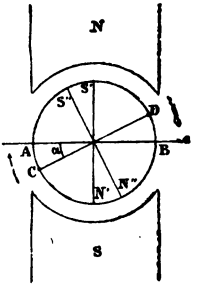


Fig. 184.

positions les balais sont pris à rebrousse-poil; aussi emploie-t-on 2 jeux de balais, dont l'un ou l'autre appuie sur le collecteur dans le sens du mouvement.

La fig. 185 montre un inverseur imaginé par M. Reckenzaun d'après ce principe. Un levier que l'on manœuvre à la main appuie au moyen de 2 petits galets en ébonite sur les porte-balais. Ceux-ci sont munis de 2 balais, qui viennent frotter à droite ou à gauche, suivant le sens du mouvement imprimé au levier.

On peut renverser la marche d'une réceptrice en changeant le sens du courant dans l'électro; pour les raisons développées précédemment, on doit en même temps dépla-

Digitized by Google

cer les balais d'un angle 2 α. Cette double opération peut s'exécuter au moyen d'un levier de manœuvre qui change les communications de l'électro et commande en même temps les balais. Certaines machines sont disposées de façon à assurer elles-mêmes le calage suivant le sens de rotation; il suffit alors de manœuvrer le commutateur de l'électro, qu'on peut placer à tel point que l'on veut.

Pour mettre en marche une réceptrice, il est utile de ne pas envoyer directement tout le courant dans l'armature;

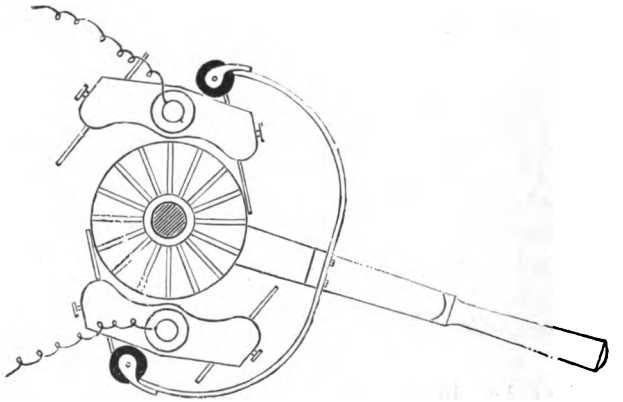


Fig. 185.

car on s'expose à la brûler. On fait usage d'un rhéostat à manette, et l'on introduit dans le circuit une résistance qui est assez grande au moment de la fermeture et qu'on diminue ensuite peu à peu.

On suit une marche contraire quand on ouvre le circuit.

§ **200. Vitesse du moteur.** — La manière dont se comporte la vitesse d'un moteur électrique est différente suivant les applications. Tantôt elle doit varier avec l'effort, tantôt au

Digitized by Google

contraire elle doit rester constante, quelle que soit la valeur de ce dernier.

1° *Vitesse variable.* — Les tramways électriques rentrent dans le premier cas ; il faut, en effet, dans l'intérêt des transmissions particulièrement, que le moteur ne prenne son allure que progressivement ; de telle sorte qu'au moment du démarrage, c'est-à-dire de l'effort maximum, la vitesse soit très faible, et qu'elle aille ensuite en augmentant à mesure que l'effort diminue.

L'emploi d'une dynamo excitée en série avec alimentation sous différence de potentiel constante satisfait à cette condition. En effet, si la charge du moteur augmente, la vitesse diminue, ainsi que la force contre-électromotrice qui en dépend ; la différence de potentiel étant constante, l'intensité du courant augmente et par suite le champ magnétique. Donc l'effort qui est fonction de ces deux quantités augmente.

Avec une charge nulle, la vitesse augmente jusqu'à ce que la force contre-électromotrice égale la différence de potentiel aux bornes ; l'intensité et l'effort sont nuls. Au contraire, si la charge augmente indéfiniment, l'effort augmente aussi et la vitesse diminue jusqu'à devenir nulle.

Il est à remarquer, que, dans ce cas, l'effort ne dépend que de l'intensité du courant, puisqu'il est fonction de cette dernière et de l'intensité du champ magnétique qui en dépend elle-même, l'armature et l'électro étant reliés en série et traversés par le même courant. Il suffit donc, au moment du démarrage, où l'on a besoin d'un effort considérable, d'envoyer dans le moteur un courant de grande intensité.

2° *Vitesse constante.* — Dans beaucoup d'applications, pour les machines-outils, les treuils, par exemple, où l'outil ne travaille que d'une manière intermittente, il faut

Digitized by Google

absolument éviter l'emballement du moteur que la suppression de la charge tend à produire.

L'excitation en série est théoriquement impossible dans ce cas, puisque nous avons vu qu'elle donne lieu à une vitesse variable. Il faut donc avoir recours à l'excitation en dérivation ou plutôt à un double enroulement, ainsi que nous allons le montrer.

Il faut d'abord remarquer que, lorsqu'il s'agit d'une dynamo excitée en dérivation, la variation du champ magnétique doit se faire en sens inverse de celle de la charge; si celle-ci augmente, il faut diminuer le champ magnétique, et vice versa.

En effet, à toute augmentation de la charge doit correspondre une augmentation de l'effort. On peut l'obtenir de deux manières différentes : par l'augmentation du champ magnétique, ou de l'intensité dans l'anneau. Si l'on adopte la première solution, on n'accroît pas seulement l'effort, mais aussi la force contre-électromotrice, qui dépend du champ magnétique, de telle sorte que la vitesse tend encore à diminuer. Ce procédé est donc inapplicable, et il faut recourir à l'augmentation du courant de l'anneau, que l'on obtient en diminuant la force contre-électromotrice, c'est-à-dire le champ magnétique.

Il s'agit donc de faire varier le champ magnétique de la dynamo en sens inverse des variations de la charge.

On peut y arriver au moyen d'un régulateur, soit centrifuge, soit manœuvré à la main, qui modifie la résistance de l'électro.

En général, on préfère se servir d'un double enroulement sur les électros, combiné de façon que l'enroulement en série ait un effet contraire à celui de l'enroulement en dérivation, et tende par suite à désaimanter l'électro. Voici ce qui se passe. Lorsque la charge augmente, par exemple, la vitesse tend à diminuer; par suite, la force contre-électromotrice

Digitized by Google

diminue, et le courant de l'armature augmente ; il en résulte que l'action de l'enroulement en série augmente elle aussi, et, comme cet enroulement tend à désaimanter l'électro, le champ magnétique diminue, ce qui, comme nous l'avons vu précédemment, est la condition requise pour augmenter la puissance et ramener la vitesse à sa valeur primitive.

§ **201. Moteurs électriques à courant continu.** — Nous n'entrerons pas dans la description des moteurs élec-

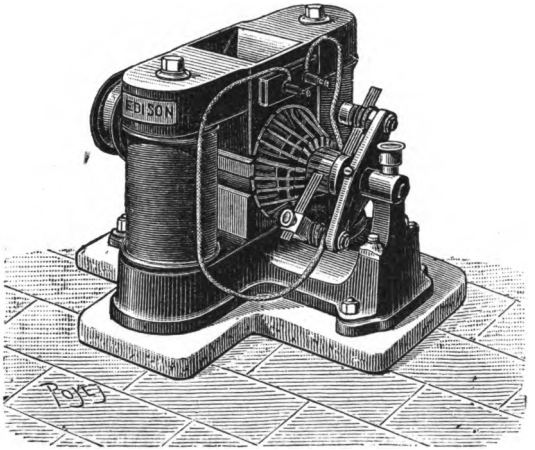


Fig. 186.

triques. Leur nombre est très grand, et, du reste, comme nous l'avons dit plus haut, ils ne diffèrent des dynamos que par quelques détails de construction. Nous nous bornerons à donner comme spécimen le dessin d'un appareil de ce genre qui est construit par Edison (fig. 186).

Il en existe trois types :

Digitized by Google

1 cheval;
50 kilogrammètres;
25 »

Il peut être placé en dérivation sur les circuits des installations de lumière. Le réglage de la vitesse se fait en manœuvrant sur un cadran la manette d'un rhéostat.

Sur l'arbre qui porte l'anneau on peut adapter à volonté une poulie, un engrenage ou une vis, et commander ainsi un outil tel qu'un treuil, une scie, une machine à imprimer, etc.

§ **202. Moteur Rowan.** — La disposition adoptée par M. Rowan, de Glascow, offre une particularité très intéressante et est susceptible de rendre de nombreux services.

Une des grandes difficultés que présente la construction des navires consiste dans le perçage des trous, le rivetage des tôles et le matage des joints qu'on exécute *sur cale*.

Il existe une quantité innombrable de travaux de cette espèce, que l'on est forcé de faire sur place, à cause de la difficulté qu'il y a à raccorder des pièces de formes très compliquées. On est obligé, par exemple, pour percer les trous, d'employer des perceuses manœuvrées à bras que l'on déplace pour chaque trou. L'outil est adapté à faux-frais avec des boulons, ce qui occasionne une perte de temps considérable, et sa manœuvre est quelquefois fort difficile à cause de la place gênante qu'il occupe souvent.

L'outil de M. Rowan simplifie beaucoup la question. Le courant produit par une dynamo alimente un fort électro-aimant qui supporte la perceuse. Une fois qu'on a déterminé la place que doit occuper l'outil, on amène le courant dans l'électro-aimant par un commutateur. L'âme de fer

Digitized by Google

s'aimante et s'attache à la tôle qu'il s'agit de percer. Un second commutateur amène le courant dans le moteur électrique qui commande l'outil.

La vitesse de rotation étant considérable, le travail est exécuté rapidement. En manœuvrant le commutateur, on arrête le courant, et l'électro-aimant n'adhérant plus à la tôle peut être transporté ailleurs.

Cette description suffit pour montrer quelle économie de temps on peut réaliser par ce système, toute l'opération se réduisant à mettre l'appareil en place et à manœuvrer un commutateur. La flexibilité du conducteur permet d'installer l'outil dans toutes les positions; il peut opérer sur une paroi verticale ou inclinée, l'adhérence étant toujours la même.

§ **203. Transmission de l'énergie par les stations centrales.** — Les stations centrales établies pour distribuer la lumière peuvent également fournir l'énergie. Ce système, fort répandu aux États-Unis, n'a pas encore pris en France l'extension qu'il mérite, ce qui est regrettable; car les stations centrales trouveraient là un moyen d'utiliser pendant le jour leur matériel.

Il est à remarquer que les différents systèmes que nous avons passés en revue pour distribuer la lumière ne conviennent pas également pour l'énergie, du moins au point de vue économique. Il n'est pas indifférent d'adopter le système à intensité constante ou celui à différence de potentiel constante. Les chiffres suivants suffisent pour le démontrer.

Quand on marche à intensité constante, l'intensité ne dépasse généralement pas 10 amp., et la tension atteint au maximum 2 500 volts, ce qui représente une puissance disponible de :

$$\frac{2\,500 \times 10}{9{,}81} = 2\,500 \text{ kgm.}$$

Digitized by Google

Soit 30 chev. au plus, en tenant compte du rendement.

La quantité de travail qu'on pourrait livrer serait donc trop faible pour une pareille installation.

Quand on marche à différence de potentiel constante les résultats ne sont plus les mêmes. Car l'intensité peut être très grande, et la différence de potentiel atteint 200, 300 ou 400 volts, en employant les systèmes à 3, 4 et 5 fils. Nous avons vu, § 166, en parlant des stations centrales, que celle de l'avenue Trudaine, par exemple, fonctionne à 125 volts et 1 600 amp., ce qui représente 200 000 watts ou 266 chev.

§ **204. Commandes électriques.** — Dans les ateliers, la transmission électrique de l'énergie est fort employée pour la commande des outils; et l'on peut dire qu'il y a peu d'usines où sa place n'est pas marquée, soit pour actionner un appareil difficile à commander mécaniquement, soit pour transmettre l'énergie à une annexe trop éloignée du moteur ou trop légèrement construite pour supporter des arbres de transmission.

L'électricité entraîne, il est vrai, une perte qui peut atteindre 35 ou même 50 %; mais cette perte peut ne pas dépasser celle qui résulte des courroies; car avec ces dernières, la transmission ne cesse pas de tourner, quelque faible que soit le nombre d'outils en service, et elle consomme inutilement du travail en frottement.

Il est à remarquer que, quand les outils sont commandés d'une façon purement mécanique par courroies ou engrenage, les résistances passives de cette transmission diffèrent peu en charge et à vide.

Le rendement est donc très mauvais. Dans l'étude d'une pareille installation, il y a lieu d'établir le rapport entre la durée du fonctionnement utile des outils et le temps pendant lequel tourne la transmission maîtresse. Les chiffres

Digitized by Google

qui en résultent montrent si l'on a avantage à employer une transmission générale pour toute l'usine, ou des moteurs indépendants pour certains outils ou groupes d'outils. Par exemple, on peut avoir économie à actionner un pont roulant par une machine spéciale, au lieu de le commander par un câble toujours en mouvement. Dans de pareils cas un moteur électrique peut être employé avec grand avantage. Car il ne fonctionne que quand il a un travail utile à fournir, et son installation ne nécessite qu'un fil de faible diamètre.

Dans un atelier, pour commander électriquement les outils, on peut opérer de deux façons :

1° Chaque outil est actionné par un moteur électrique spécial.

2° Les divers outils sont partagés en plusieurs groupes. Chaque groupe dépend d'un même arbre qui est commandé par un moteur électrique. On peut réunir ainsi ensemble tous les outils destinés à travailler simultanément, et on économise la perte du travail produite par des arbres tournant à vide.

Avec le second système on est conduit à conserver encore un attirail assez important d'arbres, de poulies et de courroies. Mais cette manière de procéder a un avantage. Pour produire la même somme de travail, on emploie des moteurs électriques moins nombreux et plus puissants que dans le premier cas. Or le prix d'achat d'un moteur unique est toujours moindre que le prix de plusieurs petits moteurs représentant la même puissance totale. En outre, le rendement est toujours meilleur dans un fort que dans un faible moteur. Il peut donc arriver que l'emploi de transmissions intermédiaires, malgré sa complication, soit quelquefois plus économique que la commande directe de chaque outil.

Digitized by Google

CHAPITRE II

TRANSMISSION PAR COURANTS ALTERNATIFS

§ **205. Moteurs à courants alternatifs.** — Les moteurs à courants alternatifs, comme ceux à courant constant, comprennent toujours deux parties essentielles : un champ inducteur et un système induit, dont l'un est fixe et l'autre mobile; on peut les diviser en trois catégories :

1° Moteurs à champ constant, ou moteurs synchroniques;

2° Moteurs à champ alternatif;

3° Moteurs à champ tournant.

§ **206.** 1° **Moteurs à champ constant.** — Ce système repose sur la propriété qu'ont les alternateurs d'être réversibles, comme les dynamos à courant continu. Le courant produit par la génératrice est envoyé dans des bobines induites mobiles tournant dans un champ magnétique constant produit par un aimant, ou par un électro-aimant excité d'une façon indépendante. Si le courant produit par la génératrice a, par exemple, une fréquence de 60, et si l'on commence par imprimer à l'induit du moteur une vitesse de 60 tours par seconde, celui-ci continuera à tourner d'une façon synchronique avec la génératrice, dont il suivra les variations de vitesse. Mais si l'on exerce sur le moteur une résistance dépassant une certaine limite, l'accord cessera entre les 2 machines, et le moteur s'arrêtera assez brusquement.

Digitized by Google

C'est que le travail produit n'est pas constant pendant la rotation. Le moteur passe par une série de positions dans lesquelles la réaction du courant sur le champ tend à favoriser la rotation, tandis que l'effet contraire se produit dans d'autres positions. Si donc on applique au moteur une charge inférieure à l'effet maximum qu'il peut produire, il marche d'une façon normale; mais, si l'on dépasse cette limite, les phases ne concordent plus, et comme la réaction entre l'induit et le champ n'intervient pas pour aider le mouvement, le moteur s'arrête. Il est donc nécessaire d'abord de mettre la machine en marche à vide, de façon à lui donner l'allure correspondant au synchronisme de ses phases avec celles du courant. Il faut ensuite appliquer la charge avec modération, puisqu'un travail trop considérable peut produire l'arrêt. Dans ce cas la machine est sujette à s'endommager; car la force contre-électromotrice n'existant plus, le courant peut prendre une intensité trop considérable. Aussi est-il prudent de munir ces dynamos d'un mode d'accouplement qui les débraie quand la charge dépasse la limite normale. Tels sont les inconvénients de ces machines.

Il faut encore y ajouter la nécessité d'exciter les inducteurs par une source étrangère. M. Ganz a levé cette dernière difficulté, en combinant des moteurs dont l'excitation est produite par une dérivation dans laquelle le courant est redressé par un appareil spécial, après avoir été réduit à une tension moins élevée par un transformateur.

§ **207.** 2° **Moteurs à champ alternatif.** — Reportons-nous à la théorie de l'électro-dynamomètre (§ 28). Nous avons vu que dans cet instrument le cadre mobile tourne, et que son couple de torsion conserve toujours le même signe, quel que soit le sens du courant. Or, une dynamo à courant continu, alimentée par des courants alternatifs se

Digitized by Google

trouve dans les mêmes conditions qu'un électro-dynamomètre; elle peut donc tourner en produisant un travail mécanique. Ces moteurs présentent un grand inconvénient dû aux courants de Foucault, qui prennent naissance dans les noyaux des inducteurs par suite des nombreuses variations du courant, ce qui diminue beaucoup le rendement. Ces appareils sont donc peu employés, et on ne s'en sert que pour de faibles puissances.

§ 208. 3° **Moteurs à champ tournant.** — Ce système a été imaginé par M. Ferraris, qui a établi le principe suivant : Quand 2 courants alternatifs de même période, mais décalés l'un par rapport à l'autre d'un quart de période, traversent 2 circuits disposés à angle droit, la résultante des 2 champs magnétiques produits par chaque circuit est un champ magnétique tournant, d'intensité constante, et de vitesse angulaire uniforme, faisant un tour complet pendant la durée d'une période. Si l'on met dans ce champ tournant un circuit fermé sur lui-même, celui-ci devient le siége de courants induits, qui tendent à faire tourner le circuit induit dans le sens de la rotation du champ.

Si l'on place une aiguille aimantée au-dessus d'un cercle parcouru par un courant constant, elle subit une déviation et s'arrête dans une position telle que l'équilibre existe entre l'action du courant et celle du magnétisme terrestre. Avec un courant alternatif, l'aiguille subit une oscillation autour de la position de repos déterminée par l'unique action du magnétisme terrestre. Enfin, l'aiguille placée dans un champ constitué comme nous l'avons vu précédemment éprouve un mouvement de rotation continu.

Supposons 2 courants de cette nature traversant les conducteurs MNP, ABC disposés à angle droit (fig. 187). Si l'on place un cylindre de fer F de façon à ce qu'il puisse tourner autour de la droite XY formée par l'intersection des

Digitized by Google

2 plans, ce cylindre se met à tourner, comme le faisait l'aiguille aimantée. On obtient ainsi un moteur, dont la partie mobile ne comporte ni enroulement, ni collecteur, et n'a pas besoin d'être intercalée dans un circuit. Certains modèles d'électro-moteurs de faible puissance se composent d'un cylindre en fer monté sur un arbre et revêtu d'une

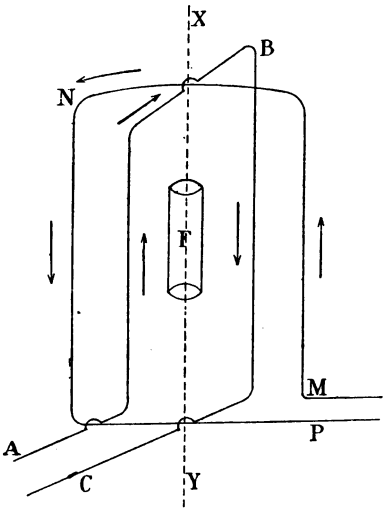


Fig. 187.

enveloppe en cuivre. Cette armature est placée à l'intérieur du champ rotatif. Ce système présente une grande simplicité, mais au détriment du rendement. Aussi remplace-t-on le cylindre massif et la chemise de cuivre par des enroulements combinés de manière à atténuer les courants parasites.

Ce que nous avons dit pour les courants diphasés s'applique également à des courants triphasés. On emploie

Digitized by Google

alors 3 circuits, et les courants sont décalés entre eux d'un tiers de période.

Ces moteurs n'exigent aucune condition de synchronisme, comme ceux que nous avons examinés précédemment; ils se mettent en marche d'eux-mêmes, comme ceux à courant continu, même sous charge. En cas de surcharge, le moteur ne s'arrête pas; le nombre de tours diminue seulement en proportion.

Divers procédés sont usités pour la production du champ tournant : les uns transforment un courant alternatif ordinaire en 2 courants alternatifs décalés d'un quart de période. Les autres reposent sur l'emploi d'alternateurs construits spécialement pour produire eux-mêmes des courants polyphasés.

§ **209. Moteur Brown.** — L'induit comporte un cylindre formé de disques minces en fer isolés, pour éviter la production de courants de Foucault dans la masse. Ces disques sont percés sur leurs bords de trous parallèles à l'axe, dans lesquels on loge des tiges de cuivre isolées du fer. Leurs extrémités sont réunies entre elles par 2 couronnes en cuivre. Les tiges et les couronnes constituent l'enroulement qui est dit *à lanterne*; et la rotation se fait par suite des courants induits dans les tiges.

L'inducteur fixe est placé concentriquement autour du cylindre. Si l'on se sert de courants diphasés, l'inducteur comporte 2 circuits destinés à produire le champ tournant. Si les courants sont triphasés, l'inducteur a 3 circuits. Dans ce cas, les enroulements de l'induit peuvent être couplés soit en triangle, soit en étoile; et les extrémités libres des 3 enroulements aboutissent à 3 bagues placées sur l'arbre. Ces bagues servent à introduire des résistances variables dans le circuit induit, afin de réduire l'intensité, qui au moment du démarrage pourrait être trop forte et compromettre l'enroulement.

Digitized by Google

§ 210. **Distribution des courants alternatifs triphasés. Système Dobrowolsky.** — Reportons-nous à la description qui a été donnée de la dynamo des ateliers d'Oerlikon § 75, et supposons qu'on ait adopté pour les 3 enroulements de la machine le montage *en étoile*. Nous avons vu, § 74, que dans un système de 3 courants décalés d'un tiers de période la somme algébrique des intensités passant à chaque instant dans chaque conducteur est toujours nulle, chaque courant étant égal et de signe contraire à la somme des 2 autres, ce qui permet de les réunir en un point commun *n*

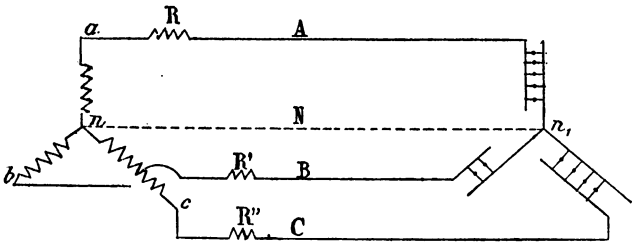


Fig. 188.

(fig. 188). Comme les enroulements sont égaux et disposés tous de la même façon par rapport à *n*, la différence de potentiel est la même entre 2 quelconques des conducteurs A, B, C ; et, en disposant un conducteur $n\ n_1$, ce dernier jouera avec chaque paire des conducteurs A, B, C le même rôle que le fil compensateur dans le système Edison à 3 fils. On constitue donc ainsi un ensemble de 3 circuits alternatifs ; et, de même que dans le système Edison, le conducteur N ne transmet de courant que si les résistances sont inégales en A, B, C.

Grâce à ce fil neutre, on peut régulariser les courants A, B, C indépendamment l'un de l'autre. Supposons le cas

Digitized by Google

de la figure, dans lequel chaque conducteur doit alimenter un nombre différent de lampes. En disposant des résistances R, R', R'', on peut faire varier indépendamment la différence de potentiel entre chaque conducteur et N. Si on supprimait le fil neutre, on ne pourrait changer l'état d'un conducteur sans modifier aussitôt celui des autres. Les lampes, comme on le voit, sont reliées au fil neutre et à chaque conducteur.

§ 211. **Exemples d'installations, transmission électrique à Cassel.** — Il s'agissait d'utiliser pour l'éclairage électrique de la ville une chute d'eau située à 6 km. La station génératrice comporte 2 alternateurs Kapp de 60 kilowatts chacun. La différence de potentiel aux bornes est 2 000 volts à vide, et 2 200 à pleine charge; la perte dans la ligne est donc 10 0/0. Les 2 alternateurs montés en parallèle peuvent, suivant qu'il est nécessaire, marcher ensemble ou séparément.

A Cassel, les fils desservent 2 sous-stations montées en dérivation. L'une d'elles possède un moteur à courants alternatifs synchrones qui met en mouvement 2 dynamos Brown à courant continu; ces machines sont montées en tension entre elles. La distribution se fait donc par courant continu. La seconde station a aussi un moteur à courants alternatifs et 2 machines à courant continu; mais elle comporte en outre une batterie d'accumulateurs montée en dérivation. Celle-ci a pour but d'obtenir une meilleure utilisation du matériel, que l'on peut ainsi faire travailler à pleine charge.

Les 2 stations sont reliées entre elles par les fils du réseau; de sorte que le courant fourni par la batterie peut être envoyé dans la première station.

Pour mettre en marche les moteurs synchrones on se sert des accumulateurs. Ceux-ci sont, dans ce but, attelés

Digitized by Google

aux dynamos à courant continu, qui actionnent les alternateurs-moteurs jusqu'au moment où leur vitesse devient égale à celle des alternateurs de la station génératrice. On ferme alors sur la ligne le circuit de l'alternateur-moteur, qui reçoit le courant de la génératrice et actionne à son tour la dynamo à courant continu, au lieu d'être actionné par elle.

§ **212. Transmission Lauffen-Heilbronn.** — Cette installation a été inaugurée en janvier 1892; elle emploie les courants alternatifs triphasés et alimente des régulateurs à arc, des lampes à incandescence et des moteurs à champ tournant. La station génératrice est établie à Lauffen. Elle comporte 2 turbines actionnant chacune une dynamo à courants triphasés, système Brown. Cette machine produit 4 000 amp. et 50 volts, à la vitesse de 150 tours par minute. Une turbine seule fonctionne, l'autre sert de réserve. Les courants alternatifs sont amenés par 4 fils à un premier transformateur qui élève la tension de 50 à 5 000 volts. Ce courant de haut potentiel est envoyé à Heilbronn, à une distance de 11 km. par 3 conducteurs en cuivre nu de 6 mm. de diamètre portés par des isolateurs à huile. Un fil d'acier régnant sur toute la ligne et mis en communication avec la terre à chaque poteau sert de paratonnerre à la ligne.

A Heilbronn se trouve un 2e transformateur qui abaisse la tension à 1 500 volts. Le courant est ensuite transmis au centre de la ville par un câble concentrique à 3 conducteurs présentant chacun 80 mm². de section. Là il est réparti à une troisième série de transformateurs qui abaissent la tension à 100 volts; la distribution aux abonnés se fait par le système à 3 fils.

Tout le long de la ligne sont placés 3 fils de 1,5 mm. de diamètre; reliés à Heilbronn avec les 3 câbles, ils com-

Digitized by Google

mandent, à Lauffen, 3 voltmètres qui indiquent la tension au centre de distribution et permettent d'y maintenir le potentiel constant en réglant convenablement l'excitation.

La perte de tension admise est en tout de 20 0/0, soit 10 0/0 pour la ligne et 10 0/0 pour le reste. Les moteurs destinés à la distribution de l'énergie sont du système Dolivo-Dobrowolsky, ils ont des puissances variant de 350 watts à 4,5 kilowatts. Cette installation n'est pas définitive; quand elle sera complète, elle comprendra 3 machines produisant chacune 200 kilowatts.

§ 213. **Expériences de Lauffen-Francfort.** — Pour terminer cette question, nous dirons quelques mots des remarquables expériences qui ont été entreprises, en 1891, entre Lauffen et Francfort. Il s'agissait de transporter une puissance de 300 chev. à une distance de 175 km. au moyen de courants alternatifs. La dynamo, à courants triphasés, système Brown, est placée à Lauffen. Elle est semblable à celle que nous avons décrite § 75; elle est disposée pour produire dans chacun des 3 circuits 50 volts et 1 400 amp., ce qui représente 210 kilowatts. Ces courants passent dans un premier transformateur. Là, la tension se trouve élevée à 15 000 volts et peut même atteindre 25 000 et 30 000. Ces courants de haute tension sont envoyés à Francfort à travers une ligne aérienne comportant 3 fils en cuivre nu de 4 mm. de diamètre. Les fils sont portés par des poteaux à l'aide d'isolateurs au pétrole du système Johnson-Philips.

En arrivant à Francfort, les courants passent par un second transformateur semblable à celui de Lauffen, dont le but est de diminuer leur tension et d'augmenter leur intensité. Sur le circuit secondaire des transformateurs on obtient donc des courants alternatifs triphasés à basse tension, que l'on peut utiliser pour alimenter des lampes ou pour mettre en mouvement des moteurs à courants alternatifs triphasés.

Digitized by Google

Les transformateurs comportent 3 noyaux en fer doux, sur chacun desquels sont disposés 2 enroulements, l'un à gros fil, l'autre à fil fin. Pour résister aux tensions élevées dont on fait usage, les transformateurs sont plongés dans un bain d'huile.

La question intéressante dans ces expériences était de déterminer la limite des tensions auxquelles on peut soumettre une ligne portée sur isolateurs à pétrole. Le nombre d'isolateurs entre Lauffen et Francfort s'élevait à environ 10 000; le potentiel a été poussé jusqu'à 30 000 volts, et aucun accident ne s'est produit.

Ces exemples et les nombreuses installations établies déjà jusqu'à ce jour montrent tout le parti qu'on peut tirer des courants alternatifs. Cette question, tout à fait récente, a accompli, comme on le voit, de grands progrès en peu de temps; et il est probable qu'elle permettra de résoudre dans le transport de l'énergie bien des problèmes qui jusqu'à présent ont semblé inabordables.

§ 214. Comparaison des courants continus et des courants alternatifs. — Les courants continus, employés à basse tension, ne présentent aucun danger, ce qui permet de simplifier la canalisation; mais ils ont l'inconvénient d'exiger des conducteurs de fort diamètre, ce qui limite la zone d'action. Ainsi le système à 2 conducteurs ne comporte guère un rayon dépassant 500 m. Ce fait oblige les stations centrales à s'installer au milieu même du quartier à éclairer, c'est-à-dire en des points où le terrain coûte toujours très cher. Le système à 3 fils permet d'étendre cette limite à 1 200 m. Mais la dépense est toujours considérable.

On est arrivé à obtenir des tensions de 2 000 à 3 000 volts. Mais les dynamos à courant continu se prêtent peu à des tensions aussi élevées, par suite de la disposition de

Digitized by Google

l'enroulement et de la nécessité d'un collecteur. Au contraire, les alternateurs permettent de produire des potentiels très élevés, à cause de la constitution de leur armature, dont les différentes parties sont entièrement séparables, et dont chacune n'engendre qu'une fraction de la tension totale. Dans ces machines, l'absence de collecteur, la fixité de l'armature et la rotation du champ magnétique font disparaître quelques inconvénients des dynamos à courant continu tels que la production d'étincelles, et l'usure des parties frottantes. Les moteurs à champ tournant, étant des appareils à circuit induit métalliquement fermé, ne peuvent donner naissance à aucune étincelle d'extra-courant ni à aucune rupture dangereuse. La seule interruption nécessaire est celle du commutateur de mise en marche et d'arrêt, et comme elle a lieu en un point spécial où toutes les précautions peuvent être prises, il y a peu d'accidents à redouter.

Les alternateurs procurent facilement des potentiels extrêmement élevés; nous avons vu précédemment dans des expériences la tension monter jusqu'à 30 000 volts. Cela permet d'employer des conducteurs de faible diamètre et d'augmenter beaucoup le rayon d'action; on peut établir l'usine loin des quartiers populeux; enfin, on a la facilité dans quelques cas d'utiliser des forces naturelles, comme des chutes d'eau, qui sont généralement à une certaine distance des villes.

Mais si le conducteur a l'avantage de présenter un faible diamètre, il exige, par contre, un isolement parfait, et l'économie réalisée sur le cuivre peut être compensée parfois, dans les conducteurs souterrains, par les armatures ou les travaux de conduite qui deviennent nécessaires.

Les hautes tensions sont dangereuses, et avant de distribuer le courant, on doit réduire la tension dans des transformateurs; ces appareils, complètement inertes, n'exigent,

Digitized by Google

il est vrai, aucun travail mécanique et ont un rendement qui peut dépasser 90 0/0; mais c'est là une complication. En outre, le rendement des transformateurs baisse beaucoup quand ils ne produisent pas tout le travail pour lequel ils ont été construits.

Les alternateurs sont d'une construction simple et économique; mais ils présentent quelques difficultés quand il faut les accoupler sur un même circuit, comme nous l'avons vu en parlant de ces machines. De plus, ils ont un rendement moindre que celui des dynamos à courant continu.

Les lampes à arc donnent une lumière plus faible proportionnellement à l'énergie consommée avec les courants alternatifs qu'avec les autres. Cela tient à ce que, avec un courant continu, le charbon positif placé à la partie supérieure des lampes se creuse en cratère; cette surface portée à l'incandescence envoie des rayons lumineux très intenses qui s'épanouissent en forme de cône et donnent une grande quantité de lumière dans la direction la plus convenable. Avec les courants alternatifs ce cratère ne se forme pas.

Les courants continus servent à la charge des accumulateurs et aux opérations électrolytiques. Les courants alternatifs ne peuvent être employés directement à ces usages; ils doivent être préalablement transformés en courant continu.

Le problème a été résolu par MM. Leblanc et Hutin. Leur appareil, nommé par eux *panchahuteur*, se compose d'un noyau de fer autour duquel sont enroulés un circuit primaire et un circuit secondaire. Il permet de transformer un courant alternatif de haute tension en courant continu, et vice versa. Cette transformation nécessite toujours une complication et entraîne une perte de travail.

Digitized by Google

TRAMWAYS ÉLECTRIQUES

§ 215 **Considérations générales.** — Une des applications les plus importantes de la transmission électrique de l'énergie est la traction des tramways. Le succès obtenu tient aux motifs suivants : ces tramways offrent une plus grande *élasticité* d'exploitation que les voitures traînées par des chevaux. En effet, le service d'un omnibus n'est pas régulier; le nombre de voitures disponibles doit varier dans de grandes proportions non seulement suivant les jours, mais suivant les heures. Si l'on emploie des chevaux, il faut donc en avoir en disponibilité un nombre considérable, qu'on doit entretenir également quand ils travaillent et quand ils sont inoccupés. Avec l'électricité on a un matériel qui ne dépense que quand il travaille.

La traction électrique est plus douce que tous les autres modes. L'effort est constant; il n'agit pas par une série de chocs, comme les moteurs à gaz et à vapeur. Les démarrages et les arrêts se font progressivement, sans soubresaut.

L'électricité permet d'atteindre de grandes vitesses qu'on n'obtiendrait pas avec des chevaux, et de franchir de fortes rampes qui exigeraient des animaux de renfort. Par exemple, le tramway électrique de Clermont-Ferrand franchit une rampe de 50 mm. Celui de Marseille monte une rampe de 59 mm. avec une vitesse de 15 km. à l'heure. Dans les parties les moins encombrées on peut obtenir 20 km.; la vitesse moyenne est d'environ 15 km.; les chevaux, sur une ligne semblable, ne dépasseraient pas 8 km.

Enfin, comme nous le verrons plus tard, la traction électrique est plus économique, surtout sur une ligne très fréquentée.

Digitized by Google

§ **216.** — On peut classer les différents systèmes de tramways actuellement en usage en deux catégories :

1° Traction par accumulateurs; la voiture porte elle-même les batteries qui alimentent le moteur.

2° L'électricité est fournie par une dynamo génératrice fixe; et les réceptrices, portées par les voitures, sont alimentées par 2 conducteurs placés tout le long de la voie.

Dans tous les cas, la voiture est *automobile*; c'est-à-dire qu'elle porte elle-même son moteur. Cette disposition a, sur les voitures mues par un remorqueur, l'avantage que le poids des voyageurs, qui est un poids utile, contribue à produire l'adhérence, qui, dans un remorqueur, n'est due qu'à un poids mort.

TRAMWAYS PAR ACCUMULATEURS

§ **217.** — Quand on se sert d'accumulateurs, on les charge dans une usine spéciale, on les embarque sur la voiture, et on les accouple à la dynamo qui actionne les roues. Ce système rend chaque voiture indépendante; il supprime les conducteurs, qui constituent toujours une très forte dépense; mais il présente les inconvénients suivants :

1° On ajoute à la voiture un poids mort considérable. Nous avons vu § 111 que, avec l'accumulateur E. P. S Type S, par exemple, pour emmagasiner 1 chev-h., il faut 30 kg. de plaques et 46 kg. de poids total. Nous avons vu aussi que, avec un modèle donnant un débit de 2 amp. par kg. de plaques, il faut 187 kg. de plaques pour produire 1 cheval par seconde.

Cette considération est très importante dans les tramways; car au moment du démarrage et sur les pentes il y

Digitized by Google

a un *coup de collier* que les accumulateurs doivent fournir, et le nombre de kilogrammes qu'ils comportent doit être prévu en conséquence. Ces chiffres suffisent pour montrer le rôle du poids mort, surtout pour un long trajet.

2° Un deuxième inconvénient des accumulateurs consiste dans le matériel encombrant qu'ils nécessitent et dans les soins continuels exigés par la charge et l'entretien des batteries.

3° Le rendement des accumulateurs n'est pas élevé. Nous avons vu § 109 que, si l'on employait un travail de 100 chev. à charger des accumulateurs, ceux-ci ne rendaient que 43 chev. Or le moteur électrique fonctionne dans des conditions très défavorables à cause des arrêts et des changements de vitesse, il ne rend donc pas plus de 60 à 65 %. Le rendement définitif est donc :

$$43 \times 0{,}60 = 25{,}8$$

Soit environ 0,25.

M. Gadot (*La traction électrique et la traction animale des tramways*) indique 0,50 comme rendement des accumulateurs, et 0,25 comme rendement général du système.

Voici à cet égard quelques chiffres cités par M. Badois à la *Société des Ingénieurs civils*, à propos de l'exploitation des lignes de Saint-Denis à la Madeleine, à l'Opéra et à Neuilly :

En 1893, le parcours total a été de 803 293 km., soit 2 200 km. par jour moyen. Pour ce service, les machines de Saint-Denis ont fourni :

250 chev.	pendant	23	heures	consécutives =	5 750 chev-h.
125	—	6	—	=	750 —
	Soit par jour.....				6 500 —

L'énergie moyenne absorbée par kilomètre-voiture a donc été ·

Digitized by Google

$$\frac{6\ 500}{2\ 200} = 2{,}96 \text{ chev-h.}$$

Soit environ 800 000 kgm.

En admettant que l'effort moyen à la jante des roues soit de 200 kg. le travail effectif résistant est 200 000 kgm. par km.

Le rendement final est donc

$$\frac{200\ 000}{800\ 000} = 0{,}25.$$

Si l'on admet 1,25 kg. comme dépense de houille par cheval-heure, la consommation par kilomètre-voiture de 50 places est :

$$2{,}96 \times 1{,}25 = 3{,}70 \text{ kg.}$$

Quoi qu'il en soit, la traction par accumulateurs est plus économique que celle par chevaux, comme nous le verrons plus loin.

§ **218. Tramways avec conducteur électrique.** — Quand on fait usage de conducteurs électriques pour la traction des tramways, le courant est produit par une dynamo génératrice installée à poste fixe; il est transmis par 2 conducteurs à la réceptrice, qui est portée par la voiture et qui est attelée aux essieux. Les conducteurs peuvent être souterrains ou aériens; nous allons examiner ces deux cas.

1° TRAMWAYS AVEC CONDUCTEURS SOUTERRAINS

§ **219. Disposition des conducteurs.** — Le premier conducteur est formé par les rails mêmes; les essieux sont isolés des roues de la voiture. Le second conducteur est placé sous le sol dans un caniveau parallèle à la voie, et il

Digitized by Google

est porté par des isolateurs. La communication est établie avec le moteur électrique par des chariots ou des balais frottant sur les conducteurs.

Quelquefois on ne se sert pas des rails comme conducteurs. On établit dans le sol 2 barres rigides à l'intérieur d'un caniveau. Une fente longitudinale permet le passage d'un double frotteur relié à la dynamo motrice. Les 2 barres sont portées par des isolateurs et disposées de façon à être à l'abri des ordures tombant par la fente.

Nous verrons plus loin quelques exemples de ces divers procédés.

On doit renoncer tout à fait à une pratique qu'on employait dans le début par économie, et qui consistait à opérer le retour du courant par la terre. Ce mode de retour, qui suffit aux lignes télégraphiques, offre une très grande résistance à des circuits puissants comme ceux des tramways, et il en résulte un très mauvais rendement.

Dans le principe on reliait simplement entre eux les deux bouts des rails juxtaposés, et l'on plaçait de distance en distance une plaque de terre. On a reconnu que ce système était très défectueux, et qu'il était absolument indispensable d'avoir un circuit métallique continu.

Dans les réseaux de plusieurs villes américaines on a constaté encore un inconvénient qui a suscité de nombreuses discussions. On a remarqué de profonds ravages sur les tuyaux d'eau et de gaz et sur les câbles téléphoniques placés près des lignes de tramways. Nous en avons parlé § 174.

§ **220. Jonctions des rails.** — Si l'on emploie les rails comme conducteurs, il faut apporter le plus grand soin à leurs jonctions, pour diminuer les pertes de courant et réduire la résistance électrique; il faut créer entre les rails un contact parfait présentant une conductibilité égale

Digitized by Google

à celle du rail lui-même, tout en permettant au joint un mouvement longitudinal, pour parer aux allongements dus à la chaleur.

Voici quelques exemples des dispositifs imaginés dans ce but :

Une tige de cuivre (fig. 189) relie les 2 rails. Le bout de cette tige entre dans un manchon conique fendu sur sa lon-

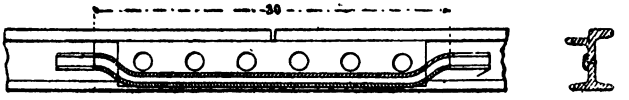


Fig. 189.

gueur, et on le chasse dans un trou percé dans l'âme du rail. La fente du manchon permet d'obtenir un fort serrage.

Le *West End* consiste en un rivet brasé au bout d'une tige de cuivre et traversant la lame du rail.

Le *Vail* (fig. 190) comporte un câble en cuivre fixé dans 2 forts coussinets en cuivre, un sur chaque bout de rail.

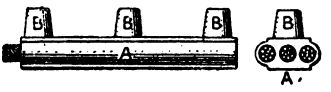


Fig. 190.

Les coussinets A portent 3 ergots B, qu'on rive dans la lame du rail.

Citons, pour terminer, le système suivant imaginé en Amérique. Pour avoir dans le circuit une continuité parfaite, on soude tous les rails bout à bout au moyen de la soudure électrique. Les extrémités des rails sont dressées préalablement avec une meule à émeri. La voiture qui porte l'outillage est munie d'un transformateur à courant

Digitized by Google

continu alimenté par le courant à 500 volts de l'usine; il est converti en courant alternatif de 300 volts. A la machine à souder est adjoint un transformateur qui change ce courant en un courant de 4 volts et 40 000 amp. Le joint est maintenu latéralement entre 2 éclisses serrées entre 2 mâchoires par lesquelles on amène le courant. Au bout de 2 ou 3 minutes, les éclisses arrivent au blanc soudant; puis un système de leviers permet de rapprocher les parties ramollies. On fait la même opération au second rail dont le bout est soudé aux mêmes éclisses.

§ **221. Caniveaux.** — Un caniveau destiné à recevoir les conducteurs électriques d'un tramway doit remplir les conditions suivantes : résister sans se déformer à la poussée des terres et des charges qui passent dans la rue; permettre les réparations aux isolateurs et aux conducteurs, sans démolir la chaussée; permettre l'écoulement des eaux et se prêter aux nettoyages. Les systèmes adoptés sont très nombreux; nous allons en passer quelques-uns en revue.

§ **222. Caniveau de Budapest.** — Le tramway de Budapest a été établi par la Société Siemens et Halsk. Les rails ne sont pas utilisés pour la transmission du courant; on emploie 2 conducteurs placés dans un caniveau souterrain sous les rails. Ce canal est représenté fig. 191. Il a 0,28 m. de largeur sur 0,33 m. de hauteur; la fente a 3,3 cm. de largeur. Les parois sont en béton jusqu'aux naissances; au-dessus elles sont en briques, afin qu'on puisse facilement ouvrir le canal. Les parois sont entretoisées par des châssis en fonte espacés de 1,20 m. d'axe en axe, qui servent en même temps à supporter les rails et les isolateurs en porcelaine des conducteurs. Les 2 conducteurs sont formés par des fers cornières ayant 8 mm. d'épais-

Digitized by Google

seur et pesant 7 kg. par m. Ils sont placés dans la partie renflée et sont ainsi à l'abri; leur distance au radier est suffisante pour que les eaux de pluie s'écoulent sans les atteindre. Des regards espacés de 200 m. servent à évacuer les eaux; ils communiquent à l'égout par un siphon. Le collecteur de courant, qui ressemble à une navette, est formé de deux pièces qui frottent sur les cornières; elles

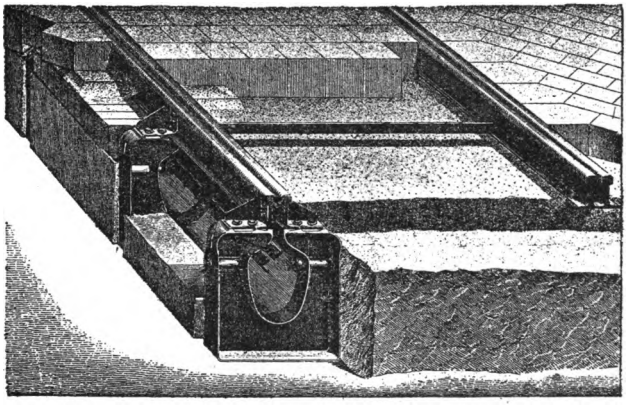


Fig. 191.

sont poussées par un ressort qui les applique le long des conducteurs. Ceux-ci sont supportés par des isolateurs en porcelaine horizontaux scellés dans les cadres.

§ **223. Système Thomson-Houston.** — Le caniveau en béton est maintenu par des cadres en fonte distants de 1,20 m. La voie est formée de rails Vignole munis d'un patin à ergot qui s'accroche au cadre et empêche le renversement. La figure 192, qui comprend deux demi-coupes, montre à droite la disposition d'un cadre. Les conducteurs, au nombre de deux, sont formés par de petits rails Vignole. La figure montre à gauche le mode de suspension

Digitized by Google

des conducteurs. Ainsi qu'on le voit, les isolateurs ne font plus corps avec le cadre, comme dans l'exemple précédent; ils sont supportés par des étriers scellés dans la maçonnerie. Ces appareils sont placés dans une sorte de petite niche pratiquée dans la paroi et fermée par une plaque en fonte couverte de pavés en bois. On constitue

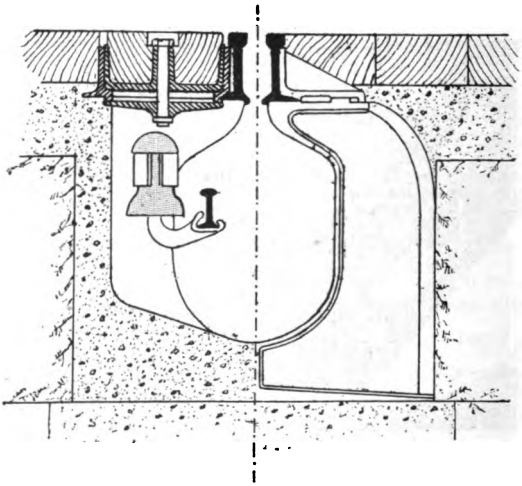


Fig. 192.

ainsi un regard permettant de visiter les moyens d'attache, sans démonter le caniveau.

Comme on le voit, d'après ces quelques exemples, les conducteurs souterrains sont placés dans un canal en maçonnerie; des cadres en fonte servent à la fois à consolider ce caniveau et à supporter les rails. La forme de ces cadres, les modes d'attache des rails et des conducteurs diffèrent par les détails, mais le principe est toujours le même.

Digitized by Google

§ 224. Distribution du courant. — Les différentes voitures qui circulent à la fois sur une ligne sont alimentées en dérivation, et la différence de potentiel est maintenue constante entre les 2 conducteurs. Dans ce but, les génératrices ont un enroulement compound.

Quand la ligne est très longue, pour régulariser la différence de potentiel, on emploie des feeders, qu'on répartit sur le parcours et qui partent directement du tableau de distribution de l'usine.

Pour qu'un court-circuit produit en un point n'entraîne pas l'arrêt de tout le service, on partage quelquefois le conducteur en tronçons isolés, dont chacun se relie à un feeder muni d'un coupe-circuit fusible.

Si la voie est longue et le service très chargé, on se trouve, par ce moyen, conduit à trop multiplier les feeders. Alors on peut disposer le long de la voie un câble supplémentaire alimenté par des feeders. Les tronçons isolés du conducteur sont reliés à ce câble avec intermédiaire de coupe-circuits fusibles, en prévision des court-circuits.

§ 225. Système Claret et Vuilleumier. — Nous allons passer en revue un procédé tout à fait différent permettant de transmettre le courant au niveau du sol. On supprime ainsi le caniveau qui nécessite toujours des travaux dispendieux, surtout dans les villes, et qui crée une rainure dans le sol de la chaussée. Ce système est basé sur le sectionnement des lignes. Il est adopté à Lyon pour la ligne allant du pont Lafayette à la Tête d'Or, et à Paris pour le tramway qui va de la place de la République à Romainville. Le conducteur est divisé en plusieurs sections isolées l'une de l'autre et disposées de façon que le courant ne passe dans chaque section que pendant le temps où la voiture s'y trouve; en sorte que toutes les portions qui ne

Digitized by Google

sont pas couvertes par une voiture ne reçoivent aucun courant, et la circulation peut s'y faire sans danger. Le problème est résolu par un distributeur automatique qui envoie le courant dans la section couverte par une voiture, et le supprime dès qu'elle en sort.

Distributeur. — Les sections S, S (fig. 193), formées de

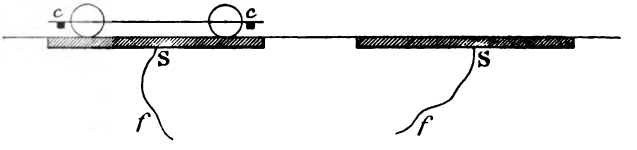


Fig. 193.

tronçons de rails, sont placées parallèlement à la voie; elles ont 2,80 m. de longueur et sont espacées de 3 m. les unes des autres; elles sont isolées entre elles et avec les rails par des pavés en bois assemblés sur du bitume artificiel. Les fils d'alimentation *f*, *f* qui relient les sections aux distributeurs passent sous la voie.

Tous les distributeurs sont reliés à un câble partant d'un

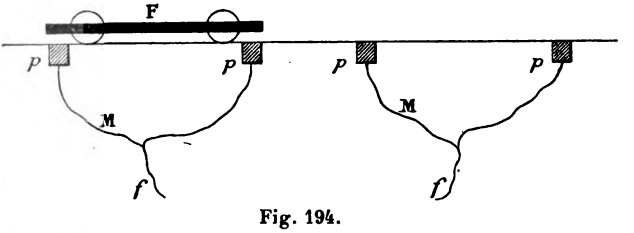


Fig. 194.

des pôles de la génératrice et amenant le courant avec une tension de 500 volts. Le retour se fait par les rails de roulage. Des curseurs *c*, *c*, placés sous la voiture, l'un à l'avant, l'autre à l'arrière, frottent sur les sections; leur

Digitized by Google

distance est réglée de façon qu'il y en ait toujours un en communication avec une section.

Cette disposition, adoptée à Lyon, avait l'inconvénient de former sur la chaussée une surface glissante. Aussi à Paris l'a-t-on modifiée de la façon suivante.

La section ne comporte plus une bande de fer continue; elle est formée (fig. 194) de 2 pavés p, p en fonte, réunis

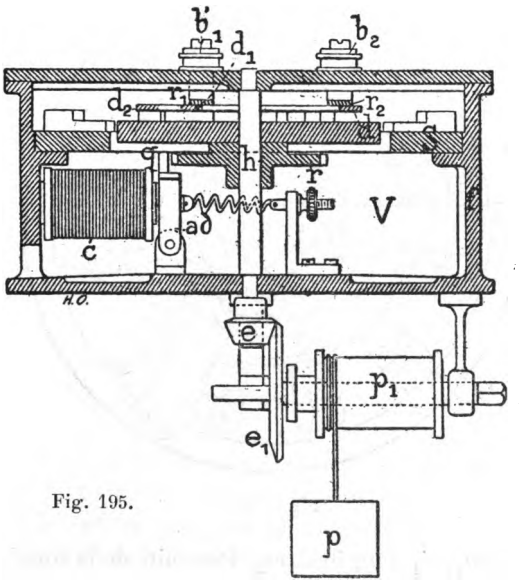


Fig. 195.

entre eux par un conducteur souterrain M qui est relié au distributeur. Chaque section est ainsi remplacée par un groupe de 2 pavés. Le courant est recueilli par un long frotteur métallique F régnant sous la voiture d'un bout à l'autre. Dans la suite de cette description nous supposerons qu'il s'agit de la disposition adoptée à Lyon qui se prête mieux à la démonstration.

Digitized by Google

Les distributeurs distants entre eux de 100 m. sont placés sous les trottoirs. L'appareil comporte (fig. 195) un axe vertical h muni d'une roue dentée r ayant (par exemple) 12 crans; un plateau d en matière isolante, sur lequel sont 2 anneaux d_1 et d_2, qui communiquent au moyen de 2 balais avec les bornes b_1 et b_2. L'anneau d_1 (fig. 196) est muni

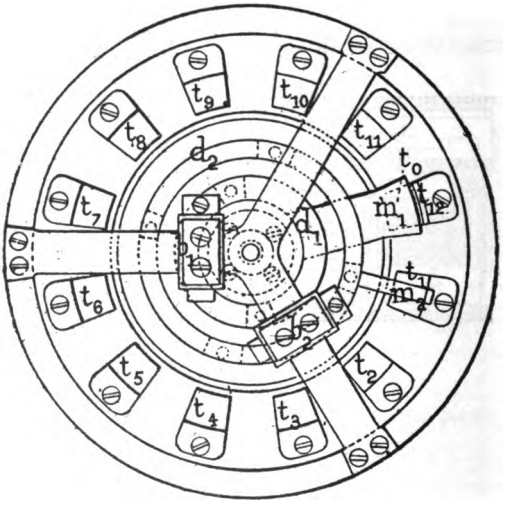


Fig. 196.

d'un bras m_1, d_2 d'un bras m_2. Par suite de la rotation de l'axe h, ces bras peuvent se placer sur des touches t_1, t_2....., au nombre de 12, portées par un anneau fixe qui fait corps avec la boîte de l'instrument. Le bras m_1 est un peu plus large que l'intervalle des 2 touches, de sorte qu'il frotte toujours sur la seconde avant d'avoir quitté la première. Le bras m_2 est moins large que cet intervalle.

Les touches ont 2 portées placées à des niveaux différents; ces portées constituent une pièce unique, sauf pour

Digitized by Google

la touche 12 qui est formée de 2 portées distinctes et isolées l'une de l'autre, comme l'indique la fig. 197. Les fig. 196 et 197 montrent comment le bras m_2 vient appuyer sur les portées supérieures, tandis que m_1 appuie sur les portées inférieures.

L'axe h est mis en mouvement par un poids p. Il est réglé par le cliquet q solidaire de l'armature de l'électro-aimant c, qui ne permet la rotation que cran par cran, chaque fois qu'il laisse échapper une dent de la roue r.

Chaque contact t_1, t_2..... est relié à une section. A la touche 12, la partie supérieure seule communique avec le

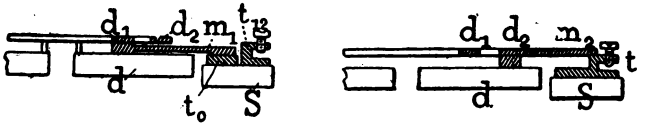


Fig. 197.

rail correspondant. La borne b_1 communique avec le câble principal. La borne b_2 reçoit un des bouts du fil de l'électro-aimant c; l'autre bout est relié à la terre.

Le courant arrivant à la borne b_1, suit l'anneau d_1, le bras m_1 et le contact correspondant; puis il traverse la section, le moteur de la voiture, et retourne enfin à la génératrice par les rails de roulage.

Voici comment se fait la répartition automatique du courant dans les diverses sections, par suite de l'avancement même de la voiture :

Supposons la voiture en D_1 (fig. 198), dans la portion desservie par le distributeur C_1, et sur la section 8. C_2 est au repos; là le bras m_1 est sur la portée t_0; cette portée, comme on l'a vu, est isolée de t_{12}, qui communique à la section 12. Le courant est donc interrompu en t_0. La

Digitized by Google

marche du courant est : bras m_1, touche 8, section 8, curseur, moteur, rails de roulage.

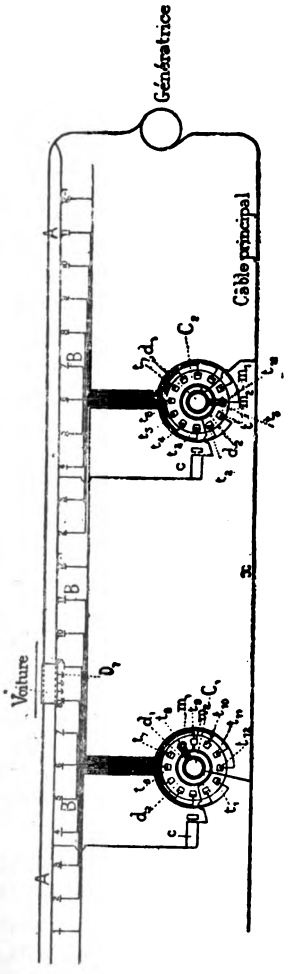


Fig. 198.

La voiture continuant à marcher, son curseur d'avant arrive sur la section 9, et lui communique le courant venant de la section 8 par le curseur d'arrière. Ce courant suivant m_2, d_2 et la borne b_2, arrive à l'électro-aimant; l'armature est attirée; la roue r est lâchée par le cliquet; m_1 vient se placer sur t_9, et m_2 sur t_{10}. Le moteur de la voiture reçoit le courant par m_1 tant que ce bras se trouve sur t_9. Mais m_2 ayant quitté t_{10} ne reçoit plus de courant; l'électro-aimant cesse donc d'agir, et le cliquet s'engage dans un nouveau cran de la roue dentée. Les mêmes actions se succèdent jusqu'à ce que la voiture parvienne à la 12e section du distributeur C_1 qui constitue à la fois la 1re section du distributeur C_2.

Quand le frotteur d'avant de la voiture parvient sur cette section, les électro-aimants de C_1 et de C_2 sont mis en mouvement à la fois; le bras m_1 de C_1 se place sur t_0, et ce distributeur ne reçoit plus de courant. Le bras m_1 de C_2, qui se

Digitized by Google

trouvait sur la touche isolée t_0, vient se placer en t_1, et amène le courant sur la 1re section de C_2, qui est à la fois la 12e section de C_1. On voit que l'avancement même de la voiture produit automatiquement la distribution du courant.

2° TRAMWAYS AVEC CONDUCTEURS AÉRIENS

§ **226. Disposition du circuit.** — Le circuit comporte 2 conducteurs aériens qui sont supportés le long de la voie par des consoles ou des poteaux. Le courant est capté au moyen de frotteurs à ressort adaptés à la toiture de la voiture et glissant le long des conducteurs. Le frotteur se nomme *trolley*. Le retour peut se faire par les rails. L'inconvénient du système aérien est qu'il peut être dangereux. Un contact établi accidentellement entre les 2 fils ou entre un fil et la terre peut créer un court-circuit. De plus, on reproche à ces conducteurs de nuire à l'aspect des rues.

§ **227. Ligne aérienne. Isolateurs.** — Quand la ligne suit un des côtés d'une rue, le conducteur peut être suspendu à des consoles fixées aux murs des maisons. On se sert aussi de poteaux-consoles à 1 ou 2 bras que l'on place soit sur un trottoir, soit sur des refuges au milieu de la chaussée.

Si le fil est placé au milieu de la chaussée, on met des poteaux vis-à-vis l'un de l'autre de chaque côté de la route. On réunit leurs sommets par un fort câble en fil de fer, et c'est ce câble qui supporte le conducteur au moyen d'isolateurs. Les poteaux se font en bois ou avec des tubes d'acier, et sont fixés dans le sol par un fort massif en béton.

La fig. 199 représente un isolateur pour conducteur supporté par des potences. *a* est un tronc de cône en por-

Digitized by Google

celaine percé en son centre d'un trou où passe une tige cylindro-conique en fer *b*. Celle-ci porte une griffe en bronze *c* à laquelle on fixe le conducteur; *b* et *c* sont réunis par une goupille, de façon à ce que *c* puisse osciller autour de l'axe. Cette disposition permettant au conducteur un léger déplacement empêche les ruptures qui pourraient s'y produire sous la pression du ressort du trolley. En

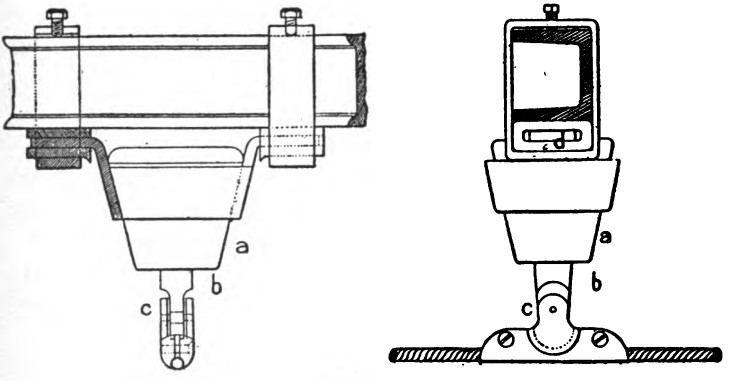


Fig. 199.

outre, quand un isolateur n'est pas tout à fait vertical, le jeu de l'articulation permet au conducteur de rester horizontal.

L'isolateur est fixé à la potence par un anneau à oreilles et 2 colliers. Pour avoir un bon isolement, on interpose des lames de caoutchouc dans les portées.

§ 228. **Trolley.** — Le trolley (fig. 200) est formé d'une roulette en bronze à gorge qui frotte sous le conducteur; elle est portée au bout d'une longue tige T terminée en fourchette *f*, qui s'articule sur le toit de la voiture. A la base se trouve un prolongement P sur lequel agit un res-

Digitized by Google

sort à boudin *b*. Celui-ci tend à redresser la tige verticalement, ce qui applique la roulette sous le conducteur. Le courant passe par la roulette, son axe et la tige T. La fourchette du trolley porte une corde qui descend sur la plateforme de la voiture, et qui sert à la manœuvre, soit pour remettre la roulette en contact avec le fil, quand elle a déraillé, soit pour retourner le trolley quand la voiture

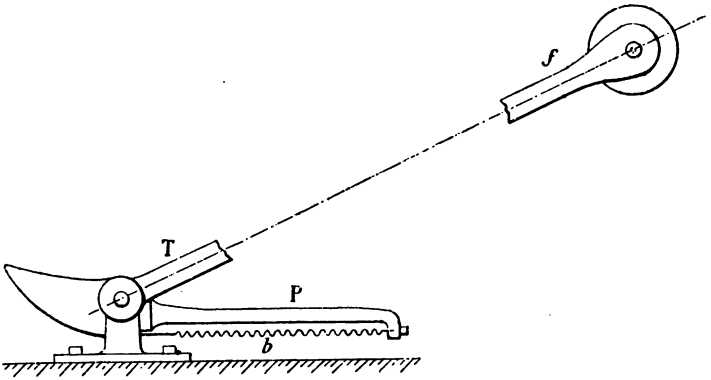


Fig. 200.

est arrivée à destination. Dans ce but, tout l'appareil peut pivoter autour d'un axe vertical boulonné sur la toiture.

Les conducteurs sont ordinairement en cuivre étiré ou en bronze silicieux, avec un diamètre de 8 à 9 mm. En ligne droite les poteaux sont distants de 35 à 40 m.; dans les courbes on diminue cette distance. La hauteur au-dessus du sol est 7 m.

§ **229. Archet Siemens.** — Le principe est le même que celui du trolley; mais au lieu de la roulette dont nous avons parlé plus haut, on emploie comme frotteur la traverse supérieure de l'appareil, qui est courbée en archet et qui a

Digitized by Google

1,50 m de longueur. Ce système évite les déraillements qui se produisent quelquefois avec la roulette. En outre, les conducteurs peuvent prendre un certain déplacement latéral à droite et à gauche de l'axe, sans que l'archet cesse d'être en contact avec eux ; ce qui permet dans les courbes de diminuer le nombre des poteaux; car on peut allon-

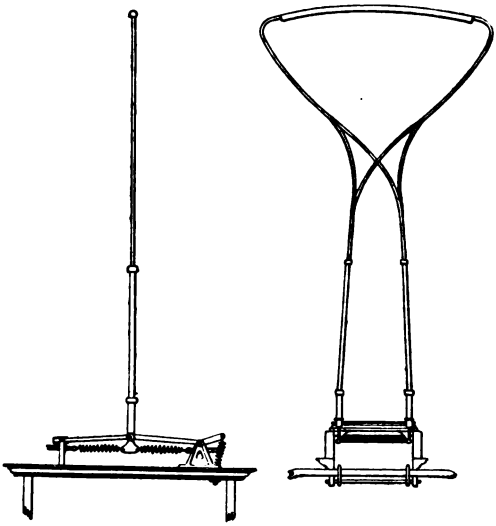


Fig. 201.

ger les côtés des polygones formés par le conducteur, et par suite, diminuer le nombre de ces côtés.

Enfin, quand on arrive au bout de la course, il n'est plus nécessaire, comme avec le trolley, de faire tourner tout le système de 180°. Car quand la voiture marche en sens contraire, l'archet, poussé par le conducteur, se dresse, puis se rabat de lui-même dans la position voulue.

Digitized by Google

§ **230. Navette.** — La disposition suivante a été adoptée sur le tramway de Clermont-Ferrand. Un premier câble en acier de 22 mm. de diamètre règne tout le long de la ligne; il est soutenu par des potences avec intermédiaire d'isolateurs en porcelaine. Ce câble sert à supporter le conducteur proprement dit, au moyen de fils de fer disposés de distance en distance. Le conducteur est formé de 2 demi-tubes en cuivre rouge laissant entre eux, à leur partie inférieure, une fente. Une navette circule à l'intérieur; elle est attachée à la voiture par un fil électrique. Les tubes ont 10 m. de longueur et sont reliés entre eux par des éclisses.

Pour le tramway de Vevey à Chillon, la ligne aérienne est double; il y a 2 conducteurs en cuivre, avec câble en acier, disposés comme nous venons de le voir; et les 2 conducteurs sont réunis de distance en distance par de solides entretoises pourvues en leur milieu d'un isolant très résistant, pour que le courant ne passe pas d'un conducteur à l'autre.

Cette disposition donne de bons résultats; mais ces 2 conducteurs avec leurs câbles produisent un effet assez disgracieux.

§ **231. Disposition du moteur.** — Comme l'espace dont on dispose est toujours très limité, on met ordinairement le moteur sous le plancher de la voiture. Tantôt un seul essieu est commandé par un moteur, tantôt les 2 essieux sont actionnés à la fois par un même moteur. Enfin chacun des 2 essieux est mis en mouvement par un moteur spécial, ce qui procure une adhérence plus forte. A cause du peu de place disponible, on doit employer des machines à grande vitesse et à faible diamètre. Comme les roues font en moyenne 100 à 120 tours, il faut un système de réduction. Si le diamètre de la dynamo et sa vitesse le permettent, le

Digitized by Google

moteur porte un pignon qui attaque directement un engrenage calé sur l'essieu. Dans le cas contraire, le pignon du moteur engrène avec une roue portée par un arbre intermédiaire, et celui-ci commande l'essieu soit par un second jeu d'engrenage, soit par une chaîne sans fin.

§ **232. Moteurs.** — Les moteurs électriques destinés à la traction ont été beaucoup perfectionnés depuis quelques années. Il s'agissait de réduire autant que possible le poids de ces machines et de diminuer leur vitesse, afin d'obtenir par une simple réduction le nombre de tours nécessaire aux essieux. Il fallait aussi préserver le mécanisme contre la boue et la poussière.

Dans ce but, au lieu de la fonte qu'on employait autrefois pour la carcasse des inducteurs, on s'est servi d'un acier fondu spécial possédant une grande perméabilité magnétique. On a obtenu ainsi des champs très intenses, tout en diminuant beaucoup le poids des inducteurs et en réduisant le travail absorbé par leur excitation. L'adoption de types multipolaires, à la place des machines bipolaires, a permis d'obtenir une allure plus lente. Enfin, le circuit magnétique est formé d'une carcasse en acier fondu qui enveloppe tout à fait l'induit, le collecteur et les balais, et les préserve des influences extérieures. Les engrenages sont renfermés dans une boîte pleine d'huile. Les balais se font en charbon et donnent de très bons résultats; ils permettent au moteur de tourner dans les deux sens, et ils ne nécessitent pas de modifications dans l'angle de calage.

Le type G. E. 800 construit en Amérique par la *General Electric Company* est fort employé et peut servir de modèle. Pour une puissance de 25 chev. son poids, y compris les engrenages, est de 660 kg. Il commande l'essieu par un engrenage avec simple réduction de vitesse.

Pour l'électro-moteur on adopte ordinairement l'excita-

Digitized by Google

tion en série, avec alimentation sous différence de potentiel constante.

Pour en trouver l'explication reportons-nous à ce qui a été dit § 200 sur *la vitesse des moteurs.*

La vitesse, très faible au démarrage, c'est-à-dire au moment de l'effort maximum, doit augmenter ensuite à mesure que l'effort diminue, et il faut que le moteur ne prenne son allure que progressivement. La dynamo indiquée remplit ces conditions.

§ **233. Régulation de la vitesse. Contrôleur.** — Dans le principe, pour modérer la vitesse des moteurs, on intercalait dans leur circuit des résistances variables au moyen d'un rhéostat. Les moteurs actionnant une voiture étaient toujours placés en dérivation dans le circuit principal. Pour les tramways, cette façon d'opérer n'est pas économique.

En effet, au démarrage il faut que le couple moteur soit puissant, l'intensité dans l'inducteur et l'induit doit donc être très grande. Mais il ne faut pas qu'elle dépasse certaines limites, pour ne pas échauffer les bobines du moteur.

Dans l'ancien système, on la modérait en intercalant une résistance. Sous l'action de ce couple puissant, la voiture démarrait. A mesure que la vitesse augmentait, l'intensité diminuait. Pour obtenir la vitesse normale, on n'avait donc qu'à supprimer peu à peu la résistance jusqu'à la rendre nulle; c'est alors que la vitesse prenait sa valeur maximum.

Comme dans les tramways les arrêts sont très nombreux, comme la vitesse éprouve de fréquentes variations dans la traversée des rues, et qu'elle atteint rarement son maximum, une grande quantité d'énergie était consommée en pure perte dans les rhéostats. Pour y remédier, on a songé à produire les variations de vitesse en modifiant les

Digitized by Google

connexions des moteurs. Pour avoir au démarrage un couple puissant, on groupe les 2 moteurs en série, et il suffit d'intercaler une faible résistance pour éviter une intensité trop grande. Si l'on veut forcer la vitesse, on couple les diverses parties des 2 moteurs de manière à diminuer de plus en plus la résistance de l'ensemble. Cette résistance est minima quand les moteurs sont accouplés en dérivation; c'est alors que la vitesse atteint son maximum. La résistance auxiliaire n'est intercalée que pendant un instant très court, lors du démarrage. La perte d'énergie est donc petite.

L'appareil qui sert à faire ces connexions se nomme *contrôleur*. C'est un cylindre en matière isolante sur la surface duquel sont des bandes de cuivre. Sur ce cylindre s'appliquent des lames de cuivre fixes en communication avec les différents organes des moteurs. Les diverses combinaisons s'obtiennent par la rotation du cylindre. Ces instruments sont renfermés dans une boîte métallique dont le fond supérieur est traversé par l'axe du cylindre terminé par une manivelle. Un doigt se déplaçant sur un cadran indique la position relative du cylindre. Au bas du contrôleur sont 2 interrupteurs mobiles servant à mettre l'un ou l'autre moteur hors circuit, et un appareil de renversement de marche. Ces contrôleurs exigent peu d'entretien. Celui qui les emploie n'a pas besoin d'être un mécanicien spécial, et il n'a d'autre soin que la surveillance de sa route.

§ **234.** — L'appareillage d'une voiture comporte encore des coupe-circuits fusibles, pour protéger les moteurs contre la chaleur produite par un courant trop intense. Un parafoudre les préserve des décharges atmosphériques.

L'éclairage des voitures peut se faire électriquement. Dans ce but, des lampes à incandescence sont montées en

Digitized by Google

série et alimentées par une dérivation du courant qui actionne les moteurs.

§ **235. Freins électriques.** — On se sert quelquefois de l'électricité pour modérer la vitesse de la voiture. Ainsi on peut changer le sens du couple moteur en renversant le sens du courant dans l'induit; dans ce cas le moteur agit comme un frein. Mais il ne faut user de ce moyen que dans un cas urgent, à cause des secousses violentes résultant de la rapidité d'action. Dans les fortes descentes, on peut encore isoler la voiture de la ligne et établir un circuit passant par le moteur et un rhéostat. Dans ces conditions, le moteur, mis en mouvement par l'essieu, est employé à produire un courant qui est dépensé sous forme de chaleur dans le rhéostat et dont la production constitue une résistance mécanique énergique. Ce frein est à la fois très sensible et élastique; le passage d'une touche à l'autre du rhéostat provoque un changement dans la vitesse.

En diminuant la résistance jusqu'à la fermeture en court-circuit, on produit l'arrêt complet sur les rampes les plus fortes. Ce système est appliqué sur le chemin de fer du Salève, où les pentes atteignent jusqu'à 20 et 25 p. 100.

§ **236. Puissance de traction.** — La puissance de traction est fonction de l'effort de traction et de la vitesse du véhicule. L'effort de traction est l'effort horizontal nécessaire pour maintenir un véhicule en mouvement à une vitesse uniforme; il est, dans les limites pratiques, sensiblement indépendant de cette vitesse.

P étant la puissance de traction, F le poids du véhicule, v la vitesse, et k le *coefficient de traction*, c'est-à-dire le rapport de la force horizontale nécessaire pour tirer un véhicule au poids de ce véhicule, on a :

$$P = k\,F\,v.$$

Le coefficient de traction varie beaucoup avec la nature

Digitized by Google

de la voie, son état d'entretien ou d'humidité. Pour les tramways, il est d'environ 1 p. 100 sur une voie propre, et de 2 p. 100 sur une voie sale. Dans les chemins de fer, il s'abaisse à 0,5 p. 100 sur une voie bien entretenue. Dans le cas de la traction des tramways électriques, on peut supposer que ce coefficient varie de 1 à 3 p. 100. Ce chiffre se rapporte à une voie en palier; quand il y a une rampe, on en tient compte de la manière suivante :

Supposons, pour fixer les idées, un véhicule dont le poids total F est de 1000 kg., et cherchons la puissance nécessaire pour le faire mouvoir à une vitesse de 3 m. par seconde sur une rampe de 1 cm. par mètre et sur un terrain dont le coefficient de traction est de 3 p. 100. Cette puissance se composera de 2 termes :

1° Puissance nécessaire pour vaincre la résistance du terrain :

$$P' = k\,F\,v = 0{,}03 \times 1\,000 \times 3 = 90 \text{ kgm.}$$

2° Puissance nécessaire pour élever le véhicule, avec une vitesse de 3 m. par seconde, sur une rampe de 1 p. 100 :

$$P'' = 1\,000 \times 3 \times 0{,}01 = 30 \text{ kgm.}$$

La puissance totale sera alors :

$$P = P' + P'' = 120 \text{ kgm.}$$

Le moteur devra donc développer 120 kgm. par seconde.

§ 237. **Choix du moteur à vapeur.** — Pour établir le projet d'un tramway électrique, il faut commencer par déterminer la puissance motrice totale nécessaire, qui dépend de la fréquence des départs, de la longueur de la ligne, de la vitesse maxima qu'on veut atteindre, du coefficient de traction et des rampes. Pour les rendements, les chiffres suivants ont été indiqués par M. de Marchéna (*Société des Ingénieurs civils*) ;

Digitized by Google

Le rendement du groupe comprenant la machine motrice de l'usine et la dynamo génératrice peut atteindre 70 à 75 p. 100. Pour le rendement de la ligne on obtient aisément 90 p. 100. Enfin les moteurs proportionnés aux voitures, possédant des vitesses de rotation suffisantes (au moins 4 à 500 tours), peuvent rendre en moyenne 60 à 65 p. 100 dans les conditions défavorables où ils fonctionnent. La moyenne du rendement total s'élève donc à 40 p. 100.

Ayant déterminé, comme on l'a vu précédemment, la puissance nécessaire pour la marche en palier et en rampe d'un véhicule, on dresse un profil en long de la ligne, sur lequel on rapporte le nombre de voitures simultanément en marche, en supposant qu'elles circulent toutes à une vitesse uniforme égale à leur vitesse moyenne.

Si l'on élève des ordonnées aux différents points de la ligne, et qu'on y porte des longueurs proportionnelles à la puissance consommée par une voiture en chacun de ces points, la surface de la courbe donne la puissance nécessaire à la marche d'une voiture pendant tout son parcours. En additionnant les puissances absorbées à chaque instant par l'ensemble des voitures, et en appliquant les coefficients de rendement indiqués ci-dessus, on peut calculer la puissance que doit fournir la station centrale. Ces calculs sont approximatifs, car ils ne tiennent pas compte des démarrages. Or, on admet que pour démarrer en palier, une voiture consomme autant d'énergie que pour monter une rampe de 3 p. 100 avec une vitesse de 12 km. à l'heure.

Dans la pratique, on se base sur les chiffres suivants :

Pour 4 voitures de petit modèle, il faut une dynamo de 60 kilowatts;

Pour 6 à 7 voitures, une dynamo de 100 kilowatts.

Ces chiffres sont indépendants du profil en long de la voie; car les rampes deviennent des descentes au retour,

Digitized by Google

Pour les moteurs électriques de voitures, on se base à peu près sur les chiffres suivants :

1 moteur de 25 chev. pour les petites voitures, 30 places;

2 moteurs de 25 chev. pour les grandes voitures, 50 places.

Dans un service de tramways, la charge subit de grandes variations; les unes sont dues aux arrêts, aux démarrages, à l'ascension des rampes; les autres se présentent périodiquement à certaines heures de la journée, suivant que le service est plus ou moins actif.

Les variations accidentelles de la charge sont, d'après ce qu'on a observé en pratique, à peu près inverses au nombre de voitures circulant à la fois. Sur une ligne possédant peu de voitures, le rapport entre la puissance maximum et la puissance moyenne est plus grand que sur une ligne très fréquentée. C'est sur cette considération que l'on doit se guider pour le choix d'une machine à vapeur à grande ou petite vitesse.

Quand ce rapport est compris entre 1,5 et 2 (c'est le cas d'une ligne ayant constamment 6 à 8 voitures en circulation), on peut adopter une machine à faible vitesse et à volant très lourd.

Au delà de 8 voitures, on peut prendre une machine du genre Corliss. Si le rapport est égal ou supérieur à 2 (c'est le cas de 4 ou 5 voitures en service), on adopte une machine à grande vitesse avec volant très lourd. C'est que le régulateur d'une machine à vapeur exige toujours un certain temps pour agir. L'efficacité du volant tient à la rapidité de son action. Comme le maximum de charge se fait sentir pendant quelques secondes seulement, ce temps n'est pas assez long pour que l'énergie emmagasinée dans le volant soit épuisée, et l'appareil de détente peut alors intervenir pour régler l'allure de la machine.

Digitized by Google

§ 238. **Consommation de charbon.** — Le rendement moyen total étant, comme nous l'avons vu, évalué à 40 p. 100, voyons quelle puissance devra fournir la machine à vapeur de l'usine. Supposons une voiture de 50 voyageurs pesant à vide 7 000 kg. Le poids des voyageurs et des employés est $75 \times 52 = 4\ 000$ kg. L'ensemble représente donc 11 000 kg. Supposons le coefficient de traction égal à 1,5 p. 100; le travail à fournir pour 1 km. sera 16 0000 kgm. à la jante des roues. Cela représente à l'usine $\frac{160\ 000}{0,4}$, soit 1,5 chev-h., ce qui correspond à une consommation en charbon de 1,87 kg., en admettant 1,25 kg. par chev-h.

Les chiffres suivants ont été cités par M. de Marchena (*Société des Ingénieurs civils*) :

Des expériences faites sur les tramways électriques de Marseille ont donné : Pendant une première quinzaine, 68 340 kg. de charbon pour 31 953 km. parcourus, soit une moyenne de 2,14 kg. par kilomètre. Pendant une seconde quinzaine, on a constaté 68 625 kg. pour 30 375 km., soit 2,26 kg. par kilomètre; la moyenne est de 2,20 kg. par kilomètre-voiture. Cette dépense comprend l'éclairage des voitures et la consommation des ateliers.

Des observations ont été faites sur les tramways du Havre, de 50 places, pendant les 2 mois de novembre et de décembre 1894; il en résulte une dépense de 0,8 kw-h. par kilomètre-voiture; or la dépense par kilowatt-heure est d'environ 1 3/4 à 2 chev-h., ce qui représente 1,4 à 1,6 chev-h. par kilomètre-voiture, soit environ une dépense de charbon de 1,9 kg.

A Milan, pour des voitures de 34 places, la consommation d'énergie électrique est d'environ 0,55 à 0,57 kw-h., ce qui correspond à 1 ou 1,1 chev-h. par kilomètre-voiture.

Nous avons vu précédemment que, dans le tramway de Saint-Denis marchant par accumulateurs, la consommation

Digitized by Google

en charbon par kilomètre-voiture de 50 places était de 3,70 kg.

§ **239. Tramways par chevaux. Prix du kilomètre-voiture.** — D'après M. Gadot, pour une voiture de 50 places, pesant vide 3 860 kg. et avec sa charge totale 7 000 kg., et faisant un parcours de 94 km. par jour, les dépenses ont été les suivantes en 1883 :

Dépenses par journée de cheval (nourriture, solde des cochers, palefreniers, ferrage, etc.)	4,1343	fr.
Nombre de chevaux moyen par voiture (y compris chevaux d'infirmerie, labour, etc.).....	13,95	—
Prix de la voiture-kilomètre $\frac{4,13 \times 13,95}{94} =$..	0,602	fr.
Ajouter l'intérêt du capital, chevaux, harnais, fourrage, à 6 p. 100	0,036	—
Prix total du kilomètre-voiture....	0,638	—

Le même calcul a donné pour 1884 et 1888 une moyenne de 0,561 fr.

Ces prix ne comprennent pas les installations d'écuries, remises, bâtiments.

§ **240. Courant.** — On emploie généralement pour les tramways des courants continus ; la tension adoptée varie entre 300 et 500 volts ; la distribution se fait à potentiel constant, et la tension de 500 volts n'est pas dépassée, de crainte des accidents. La perte consentie pour la ligne est 10 0/0 de la puissance fournie par l'usine. Pour diminuer la dépense occasionnée par les conducteurs, on a recours quelquefois à quelques artifices. Ainsi, en Amérique, sur les lignes très longues, quand le trafic est fort irrégulier, qu'il est faible en temps ordinaire et devient très actif les jours de fête, on ne peut adopter des feeders ; car il faut

Digitized by Google

les calculer pour la charge maxima, et la dépense qu'ils occasionneraient serait trop forte. On emploie alors le système de distribution à 3 fils que nous avons décrit § 137. Si la ligne est à double voie, l'un des conducteurs forme le fil positif, le second constitue le fil négatif, et les rails servent de conducteur *de compensation*. Les avantages présentés par ce système sont les mêmes que ceux que nous avons énumérés précédemment à propos des installations d'éclairage.

Pour diminuer la dépense nécessitée par les conducteurs, on commence à faire usage des courants alternatifs. C'est ainsi qu'à Lugano, un réseau a été installé par MM. Brown, Boverie et C^ie^, en employant des courants triphasés. La force motrice est fournie par une chute d'eau placée à une distance de 12 km. Une turbine de 300 chev. actionne directement une génératrice à courants triphasés tournant à une vitesse de 600 tours. La tension est de 5 000 volts ; le courant est transporté à Lugano par 3 fils de cuivre de 5 mm. Là des transformateurs réduisent le potentiel à 500 volts. C'est à cette tension que le courant est distribué sur la ligne du tramway. Cette ligne, qui a 4 900 m. de longueur, est formée de 2 fils aériens de 6 mm. Le retour s'opère par les rails. La voiture, qui comporte 24 places, a un moteur de 24 chev.

Digitized by Google

Digitized by Google

SIXIÈME PARTIE

SONNERIES ÉLECTRIQUES, SIGNAUX, TÉLÉPHONES, INFLAMMATION DES TORPILLES ET DES MINES

CHAPITRE PREMIER

SONNERIES ÉLECTRIQUES

Les modèles de sonneries électriques sont très nombreux. Nous n'en ferons pas ici la description détaillée, nous nous bornerons à exposer les principes sur lesquels elles reposent; nous ne nous attarderons pas non plus à décrire en détail tous les appareils accessoires, boutons, contacts, commutateurs, etc. Il suffit, en effet, d'en indiquer le principe; ces appareils sont généralement fort simples, et les détails de construction par lesquels ils diffèrent seulement n'offrent pas grand intérêt.

§ **241. Sonnerie trembleuse.** — Cet appareil (fig. 202) se compose d'un électro-aimant E E; l'armature A, à laquelle est relié le marteau de la sonnerie, est attachée à un ressort R. Celui-ci est fixé à une équerre en fer MM qui porte les noyaux des bobines, et il se recourbe un peu en arrière de l'armature, de façon à ce que, dans l'état de repos, il appuie contre une vis de contact *e* isolée de la plaque de fond par un petit disque en ébonite. Aux 2 bornes B, B'

Digitized by Google

on attache les fils de la pile, B' communique par un fil avec le contact *e*. Le fil partant de B vient s'enrouler sur l'électro-aimant, puis il s'attache à la vis *m* fixée au bâti. Si l'on envoie le courant au moyen d'un bouton d'appel, il suit le chemin B, E, *m*, A, *e* B'; les bobines s'aimantent et attirent leur armature A. Le contact se trouve donc rompu avec *e*, et le courant s'arrête. Le ressort R ramène aussitôt l'armature dans sa position primitive, et le courant reparaît.

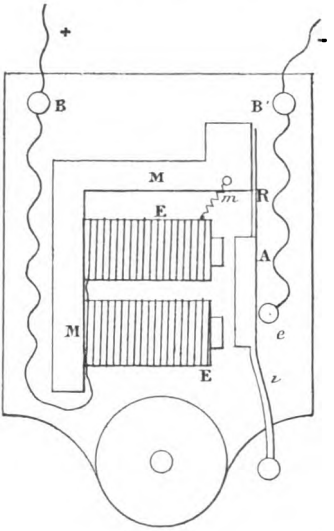


Fig. 202.

On produit ainsi sur le timbre une série de chocs très rapprochés, tant que le courant dure.

Il faut avoir soin, pour cette sonnerie, que le marteau ne touche jamais le timbre à l'état de repos. Il suffit pour cela de recourber plus ou moins la tige *i* en laiton. Ce réglage se fait à la main sans difficulté.

§ 242. Sonnerie à relai. — Quand on doit agir sur des timbres de grande dimension, exigeant des courants assez forts ou sur des sonneries placées à longue distance, on ne se sert pas directement du courant de la pile, ce qui exigerait un nombre trop considérable d'éléments. Mais on l'envoie dans un relai qui, en produisant un contact, met l'appareil en communication avec une pile locale, dont le nombre d'éléments peut alors être réduit à son minimum.

Digitized by Google

§ **243. Sonnerie polarisée.** — Les sonneries que nous avons passées en revue supposent l'emploi de courants continus, comme ceux d'une pile. Mais quand on se sert de courants alternatifs tels que ceux qu'on obtient avec des inducteurs magnétiques (§ 246), on doit employer la *sonnerie polarisée*. Elle se compose d'un électro-aimant M M (fig. 203) alimenté par les courants de la ligne, dont les fils s'attachent aux bornes *a*, *b*. Entre les pôles *r*, *r* oscille une armature A en acier aimanté, mobile autour d'un axe *m* et portant à son extrémité le marteau K. Les pôles *r*, *r* changent de signe à chaque variation de sens du courant, et l'armature se trouve alternativement attirée ou repoussée par le même pôle. Les effets des 2 pôles s'ajoutent et le choc est renforcé. Deux vis permettent de régler à volonté l'écartement des 2 pôles de l'électro-aimant.

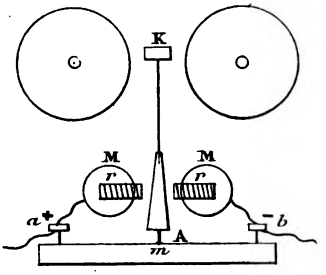


Fig. 203.

§ **244. Sonnerie à un coup.** — Cette sonnerie se compose d'un électro-aimant alimenté par le courant de ligne. L'armature en fer doux qui porte le marteau est fixée à un ressort qui tend à l'éloigner de l'électro-aimant; et elle vient buter, à l'état de repos, contre un arrêt qui limite sa course. Quand le courant passe, l'électro-aimant agit sur l'armature, et le marteau frappe un coup sur le timbre. Quand le courant cesse, le ressort ramène l'armature à sa position première.

§ **245. Sonneries pour signaux.** — Il existe d'autres systèmes de sonnerie dans lesquelles le marteau est mis en marche par un mouvement d'horlogerie. L'électricité

Digitized by Google

n'intervient que pour agir sur un échappement qui maintient les rouages au repos. C'est un ressort ou un poids qui produit la force motrice nécessaire. Ce système est nécessairement compliqué et cher; aussi n'est-il employé que dans quelques cas spéciaux, par exemple, sur les chemins de fer, on s'en sert pour indiquer le départ ou le sens de la marche des trains au moyen de sonneries conventionnelles.

Ces signaux devant être entendus de loin, exigent de puissantes sonneries; on ne peut donc pas penser à utiliser les courants mêmes fournis par la station d'appel souvent assez éloignée, et l'on doit recourir à l'expédient que nous avons signalé. Les cloches Siemens et Léopolder sont basées sur un principe analogue.

§ **246. Sonneries électro-magnétiques. Inducteur Siemens.** — On a cherché à supprimer les piles pour la manœuvre des sonneries et à leur substituer des machines d'induction. C'est que toutes les piles ont quelques inconvénients qu'on ne peut éviter. Il faut les entretenir, les maintenir en état de propreté, surveiller les contacts. En outre, pour les communications à grande distance, le nombre des éléments doit être assez considérable. Les courants produits par des machines d'induction ont l'avantage de donner une grande force électromotrice, sans exiger une dépense de travail considérable; ils conviennent donc très bien pour les longs circuits.

L'inducteur Siemens (fig. 204) est une petite machine magnéto-électrique formée d'une bobine E tournant entre les pôles de 12 lames d'aimant en fer à cheval A; b, b' sont les frotteurs et B, B les boutons de contact. La manivelle M, qui est folle sur son axe, entraîne l'engrenage de la bobine par un cliquet et une roue à rochets. Pour un tour de la manivelle, la bobine en fait six, et le bâti est disposé pour

Digitized by Google

arrêter la manivelle lorsqu'elle a fait un demi-tour. Quand on tourne dans le sens inverse à l'encliquetage, on ne produit aucun mouvement dans la bobine. Mais si l'on fait un demi-tour dans l'autre sens, on donne lieu à une émission de courant.

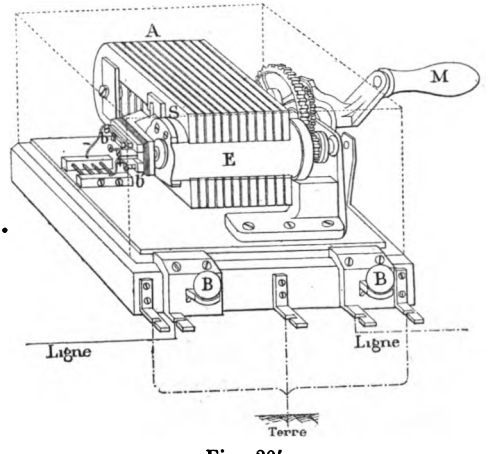


Fig. 204.

INSTALLATION DES SONNERIES

§ **247.** — L'installation d'une sonnerie électrique, fort simple dans les cas ordinaires, devient quelquefois assez compliquée. C'est que l'on doit toujours viser à économiser le fil dont le prix d'achat et la pose représentent une somme assez élevée. Quand on a un grand nombre d'appels à placer dans les différentes pièces d'une maison, que chacun d'eux doit actionner plusieurs sonneries à la fois et que l'on veut en même temps contrôler le service, la question n'est pas toujours d'une grande simplicité. Nous allons décrire les différents cas que l'on rencontre dans la pratique.

Digitized by Google

Nous nous bornerons à indiquer par des figures schématiques les dispositions à suivre dans les cas généraux.

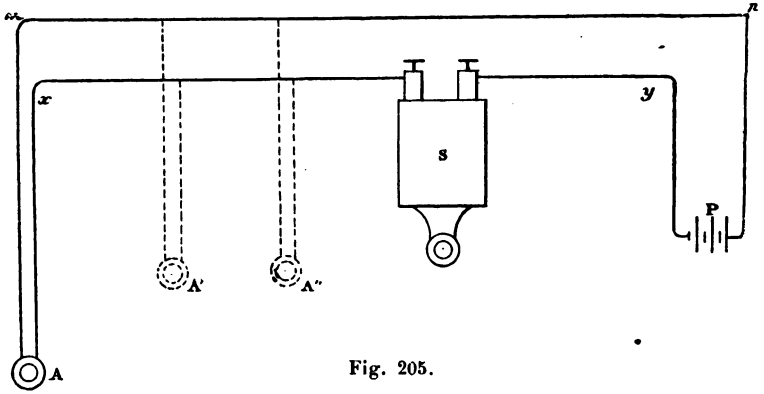


Fig. 205.

En les combinant ensemble, on arrivera facilement à résoudre la plupart des questions qui se présentent.

§ 248. **1° Installation d'une sonnerie sur un ou plusieurs appels.** — La fig. 205 représente cette disposition : S est le timbre, P la pile, A le bouton d'appel.

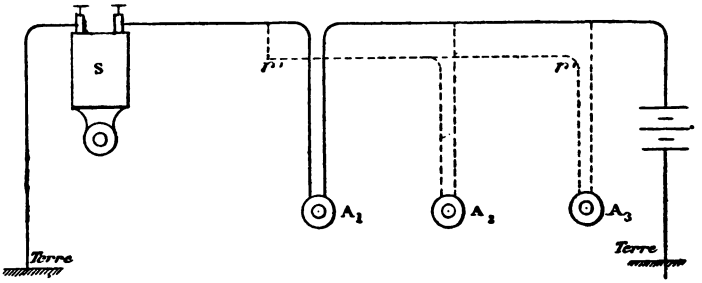


Fig. 206.

Il n'est pas nécessaire de donner d'autre explication.

Si maintenant on veut agir sur la même sonnerie avec

Digitized by Google

plusieurs appels, il suffit d'intercaler les autres boutons A′, A″ en dérivation sur les fils de ligne *mn*, *xy* comme l'indiquent les traits en pointillé.

Enfin, si l'on désire commander une sonnerie par plusieurs appels en se servant d'un fil unique, on peut disposer le montage comme l'indique la fig. 206. La sonnerie et la pile sont reliées à la terre. L'inspection de la figure montre qu'au moyen du raccord r′ r′ chaque bouton agit isolément sur le timbre.

§ **249.** 2° **Installation de plusieurs sonneries fonctionnant sur un seul appel.** — Les 3 sonneries S, S′, S″ (fig. 207) sont

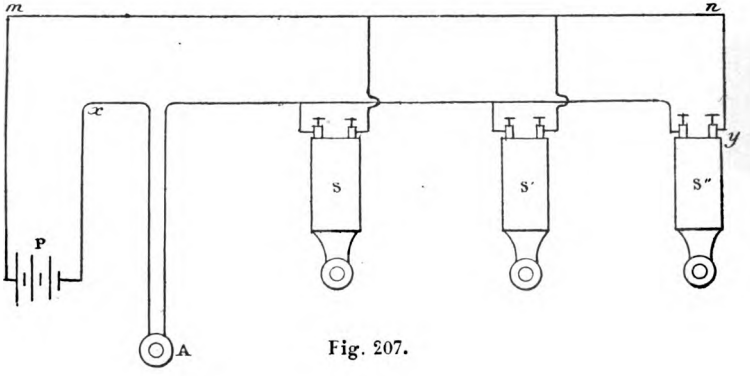


Fig. 207.

placées en dérivation sur le circuit *mn*, *xy*. Il faut avoir soin que les sonneries soient de même résistance; car si l'une d'elles offrait beaucoup plus de résistance que les autres, le courant dérivé qui y passerait pourrait être insuffisant.

Quand on a à actionner plusieurs sonneries par un seul appel, on peut encore employer la disposition de la fig. 208, dans laquelle les sonneries S, S′, S″ sont placées en tension. La totalité du courant traverse successivement

Digitized by Google

toutes les sonneries. Mais, dans ce cas, il faut qu'une sonnerie seule soit munie d'un interrupteur; dans toutes les autres, l'électro-aimant est fermé et relié directement à la ligne, sans l'intermédiaire du levier qui actionne le marteau.

§ 250. 3° **Installation de plusieurs sonneries distinctes commandées d'un même point.** — La fig. 209 indique 4 sonneries S, S', S'', S''', que l'on veut actionner séparé-

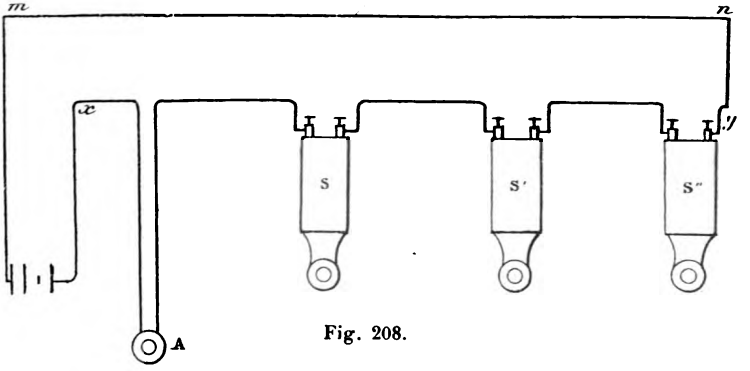


Fig. 208.

ment d'un poste central. On dispose en ce point un bouton d'appel unique A, et un commutateur M permettant de fermer le circuit sur l'une des sonneries et sur le fil de ligne; on peut encore placer en ce point un tableau T comprenant 4 boutons d'appel numérotés auquel aboutissent les différentes lignes, comme l'indique le tracé en pointillé. Toutes les sonneries communiquant à un fil commun de retour sont indépendantes l'une de l'autre.

§ 251. 4° **Installation de sonneries pour demande et réponse.** — On désire quelquefois, quand on a sonné, savoir si la personne appelée a reçu l'appel. La fig 210 indique la disposition qui convient dans ce cas.

Digitized by Google

Dans chaque poste on place un bouton et une sonnerie. Le n° 1 pour appeler, presse le bouton A actionnant la sonnerie S′; le n° 2, pour répondre, agit sur le bouton *a*

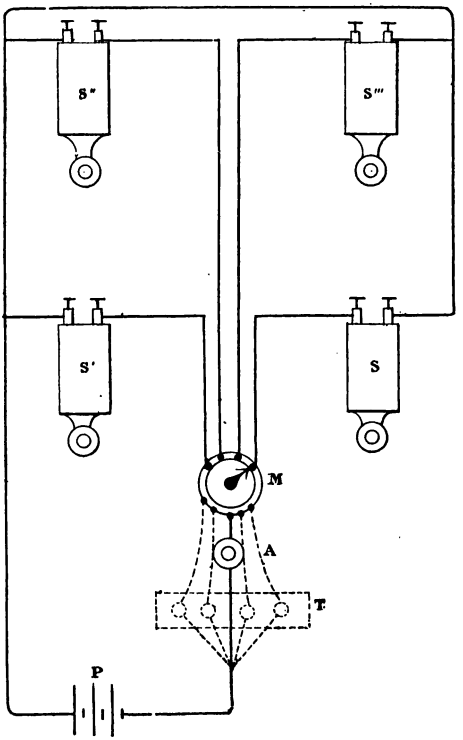


Fig. 209.

qui met en mouvement la sonnerie S. On peut donc au moyen de 3 fils seulement résoudre le problème.

Lorsque la distance des 2 postes est très grande, ce qui a lieu, par exemple, quand ils sont situés aux 2 extrémités

Digitized by Google

d'un chantier de construction, il faut chercher à réduire la dépense en fils.

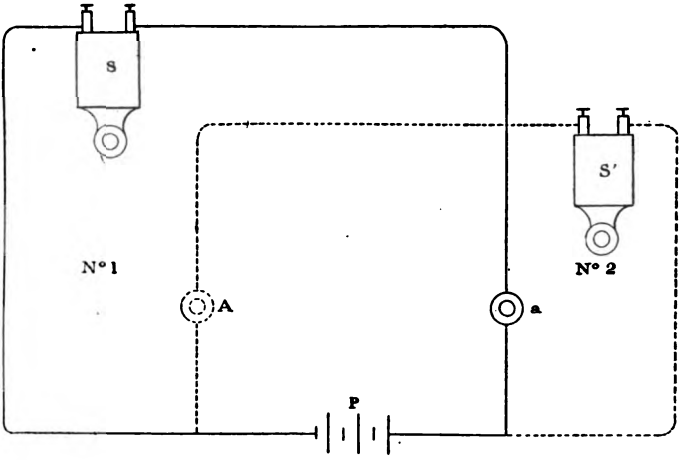


Fig. 210.

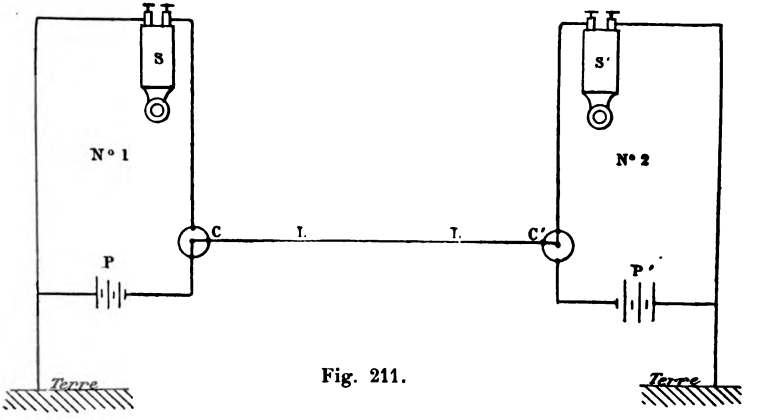


Fig. 211.

La fig. 211 montre comment les 2 postes peuvent être montés sur un fil unique LL. Chaque poste comprend une

Digitized by Google

sonnerie S et une pile P réunie d'un côté à la terre. L'autre pôle de la pile et la seconde borne de la sonnerie sont reliés à un commutateur C à 2 directions placé sur la ligne. Les 2 commutateurs étant dans la position indiquée par la figure, le n° 1 peut appeler le n° 2; puis il met son commutateur dans la position d'*attente*, c'est-à-dire en communication avec la ligne L et la sonnerie S. Le n° 2, pour répondre, réunit par son commutateur la ligne L à la pile P'. Puis chaque poste reprend la position indiquée par la figure.

§ 252. Installation de sonnerie avec tableau indicateur. — Dans un service compliqué, comme celui d'un hôtel ou d'une administration comportant un grand nombre de bureaux, il est indispensable que la personne appelée ne soit pas exposée à confondre les appels. C'est dans ce but qu'ont été imaginés les *tableaux indicateurs*.

Prenons pour exemple un hôtel.

Les fils de toutes les chambres viennent aboutir à un tableau placé dans l'antichambre. Quand un coup de sonnette se fait entendre, le domestique voit apparaître sur ce tableau le numéro de la chambre où l'appel s'est produit. Alors, en appuyant sur un bouton, il fait disparaître ce numéro, et l'appareil est replacé dans les conditions primitives; il est disposé à recevoir un nouvel appel.

Les appareils destinés à cet usage doivent être très faciles à manœuvrer, il faut qu'ils résistent aux trépidations de toutes sortes, et la même pile doit suffire au tableau et à une sonnerie unique desservant toutes les chambres.

Le mécanisme des tableaux est toujours manœuvré par des électro-aimants traversés par le courant. Nous verrons dans le chapitre consacré aux postes centraux des téléphones une disposition de ce genre, et l'appareil de

Digitized by Google

déclanchement *à lapin* que nous décrirons peut très bien être employé dans le cas actuel.

Voici une autre disposition (fig. 212). L'appareil se compose d'une boîte en bois fermée par un couvercle à charnière qui est muni d'une glace. La surface intérieure du verre est recouverte d'une couche de peinture épaisse,

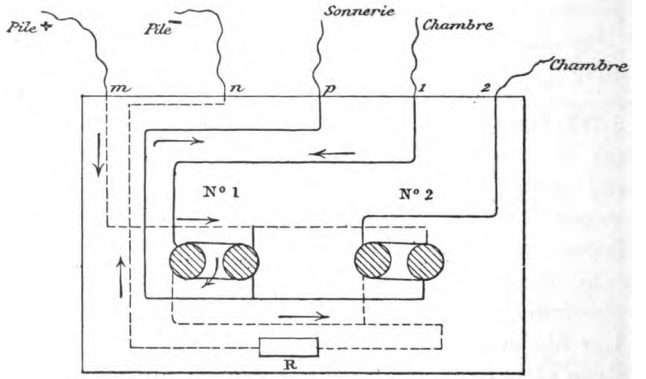


Fig. 212.

sauf quelques petits carrés transparents qui y sont ménagés, et derrière lesquels doivent apparaître les numéros. Le numéro, inscrit sur une petite plaque très légère, est porté par une aiguille aimantée mobile sur un axe horizontal et maintenue en équilibre entre les bobines d'un électro-aimant. Les pôles de l'électro changent avec le sens du courant, l'aiguille aimantée se trouve donc attirée à droite ou à gauche, et le numéro qu'elle porte se montre au guichet ou disparaît. Un bouton placé en bas du cadre, et nommé *repoussoir*, agissant sur un contact disposé comme celui des boutons d'appel, sert de commutateur. Pour 2 numéros, la boîte contient 5 bornes : *m* s'attache

Digitized by Google

au fil + de la pile, *n* au fil —, *p* se relie à la sonnerie, 1 et 2 sont en communication avec les fils des chambres.

Quand on presse sur un bouton de contact A_1, par exemple (fig. 213), le courant pénétrant dans la boîte par

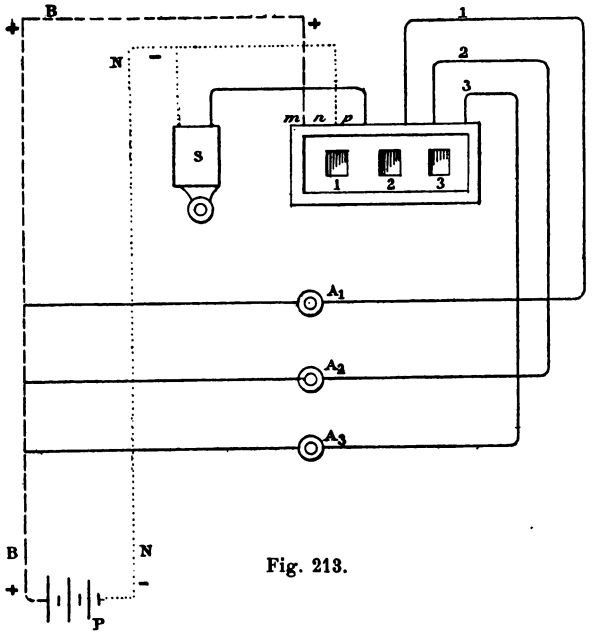


Fig. 213.

la borne 1 vient agir sur l'électro-aimant du n° 1, et le numéro apparaît au guichet; le courant poursuit son chemin par la borne *p* et va actionner la sonnerie. Le domestique prévenu presse alors le repoussoir R (fig. 212); le courant entrant par la borne *m* vient en sens contraire agir sur l'électro-aimant, et il s'échappe par la borne *n*. Le numéro disparaît du guichet, et l'appareil est tout disposé à recevoir un nouvel appel.

Digitized by Google

La figure 213 représente une sonnerie S commandée par 3 boutons d'appel A_1, A_2, A_3, avec un tableau indicateur de 3 numéros. Comme en le voit, chaque bouton est relié au tableau par un fil unique embranché sur le fil positif du circuit principal.

§ 253. **Installation avec deux tableaux indicateurs distincts marchant ensemble.** — Il est quelquefois nécessaire qu'un même appel se produise à la fois en plusieurs points. C'est le cas d'un hôtel où les domestiques doivent être prévenus en même temps que le bureau. En voici un exemple :

Supposons que, dans un hôtel, on veuille placer un tableau au rez-de-chaussée et l'autre au 1er étage, de manière à ce qu'ils manœuvrent ensemble, c'est-à-dire que les mêmes numéros apparaissent et disparaissent à la fois, et que les 2 sonneries fonctionnent également ensemble. La figure 214 montre comment on peut disposer le montage.

Les 2 fils partant de la pile BB, NN sont reliés aux tableaux et aux sonneries comme on l'a vu dans le paragraphe précédent. Les deux tableaux sont réunis entre eux par des fils rattachés aux bornes de mêmes numéros, et sur lesquelles s'embranchent les conducteurs des boutons d'appel. Le courant fermé sur un bouton d'appel se dérive sur chaque tableau et s'échappe par la sonnerie correspondante. Une ligne *xy* relie en outre les 2 tableaux ; elle sert à mettre en communication les 2 repoussoirs. On voit à l'inspection de la figure que chaque bouton A_1, A_2, A_3 commande à la fois les 2 tableaux et les 2 sonneries. Quel que soit le nombre des numéros, il y a toujours dans les 2 tableaux 4 bornes réservées l'une au pôle positif, l'autre au pôle négatif de la pile, la troisième à la sonnerie et la quatrième au fil de conjonction.

Digitized by Google

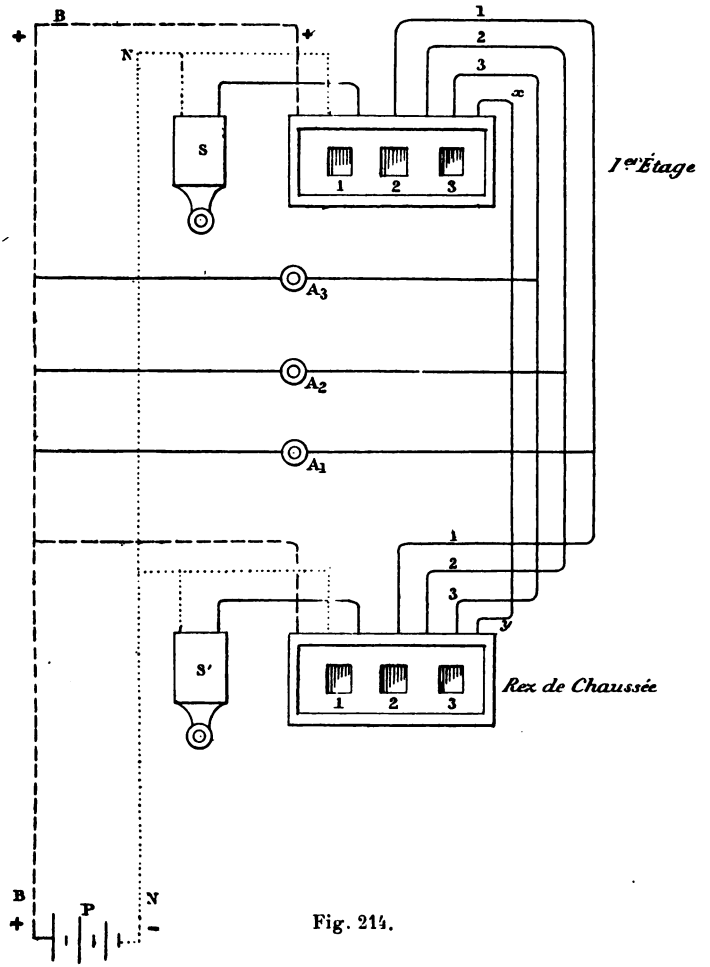


Fig. 214.

§ **254. Installation avec tableaux indicateurs et tableaux répétiteurs.** — Dans quelques hôtels, on dispose à chaque

Digitized by Google

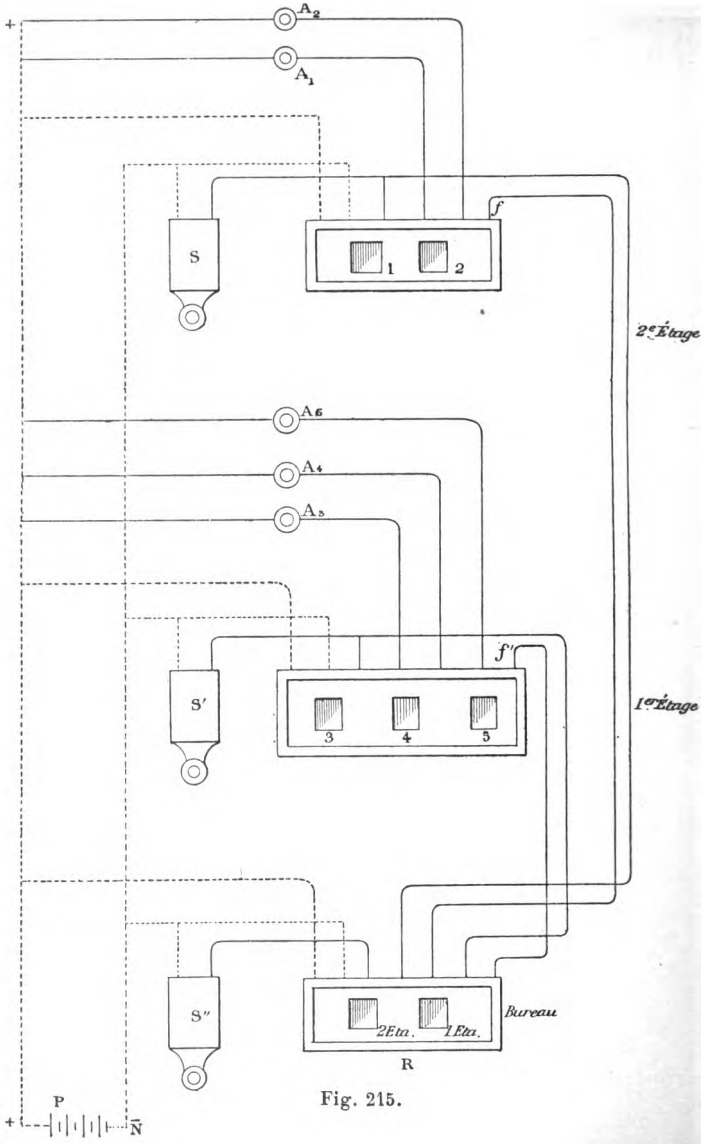


Fig. 215.

Digitized by Google

étage un tableau indicateur tel que ceux que nous avons décrits; et dans le bureau on met un tableau *répétiteur*, dont le rôle est d'indiquer simplement l'étage où l'appel a été fait. Il y a donc dans ce dernier tableau autant de numéros que d'étages dans l'hôtel. Tant que le directeur voit le numéro de l'étage, il sait que le service n'a pas été fait et il peut appeler un domestique. Car ce numéro disparaît aussitôt que l'employé, agissant sur le repoussoir, signale que l'appel a été entendu par lui. La fig. 215 représente une installation de ce genre. Au 2e étage nous avons, par exemple, un tableau indicateur de 2 numéros. Au 1er, un tableau indicateur de 3 numéros. Enfin un tableau répétiteur est placé au rez-de chaussée. Le montage pour chaque tableau indicateur se fait comme nous l'avons déjà vu précédemment. Il faut seulement mettre chaque tableau en communication avec le répétiteur, ce qui se fait au moyen des bornes f, f'; le fil correspondant sert pour la manœuvre des repoussoirs ; c'est par une dérivation sur le fil de sonnerie que se produit l'apparition des numéros.

§ **255. Intercommunication des trains.** — Il est important que, dans un train de chemin de fer, le conducteur garde-frein soit mis en communication avec le mécanicien, pour donner, en cas d'accident, le signal d'alarme. Bien des systèmes ont été proposés dans ce but. Les premiers moyens ont été assez rudimentaires. On a essayé un tube de caoutchouc régnant sur toute la longueur du train et portant, comme les tubes acoustiques, un sifflet et un pavillon.

Mais le bruit produit par la marche du train empêchait d'entendre la voix. Du reste, un pareil procédé ne serait plus applicable aujourd'hui. Car la question s'est beaucoup compliquée. Il ne s'agit plus seulement de faire communi-

Digitized by Google

niquer ensemble les agents placés en tête et en queue du train. Ce que l'on demande maintenant c'est que chaque compartiment de voyageurs puisse transmettre un appel au conducteur en cas de danger.

L'électricité a permis de résoudre le problème d'une façon assez pratique, et le système Prud'homme que nous allons passer en revue, est employé par plusieurs compagnies.

La fig. 216 indique la théorie de l'appareil, tel qu'il est

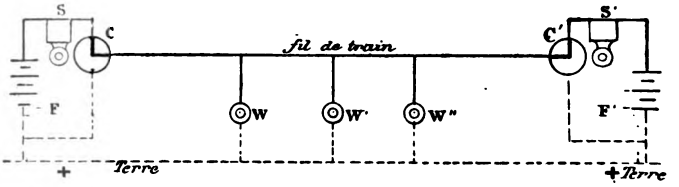


Fig. 216.

appliqué au Nord. Les fourgons de tête et de queue étant supposés en F et F', et les wagons en W, W', W'', deux fils isolés l'un de l'autre règnent sur toute la longueur du train : le premier, qui communique aux pôles positifs des piles aboutit à la terre, le second sert à relier les pôles négatifs et se nomme *fil de train* ; les boutons d'appel W, W'... des wagons sont disposés entre les deux fils. Des commutateurs C, C' sont placés dans les fourgons ; en temps normal ils sont disposés tous les deux comme dans la figure ; C' est la position d'attente.

Si l'on tourne le commutateur C de 90°, le circuit est fermé, la sonnerie S' agit, et S, qui est hors circuit, ne marche pas. Si maintenant, les 2 commutateurs étant dans la position d'attente, on agit sur un bouton W, les 2 sonneries marchent en même temps. On voit donc que les 2 employés peuvent correspondre entre eux, et que chacun

Digitized by Google

d'eux est en communication avec tous les wagons. Quand les 2 commutateurs sont dans la position d'attente, les 2 piles étant opposées par les pôles de même nom n'exercent aucune action. Il faut pour qu'un courant agisse qu'une dérivation soit opérée entre les 2 fils.

La jonction à la terre se fait par le rail, avec lequel communiquent les branchements par l'intermédiaire des châssis, des ressorts et des roues des wagons.

Sur la ligne de l'Est, la disposition est un peu différente, quoique le principe soit le même (fig. 217). La communica-

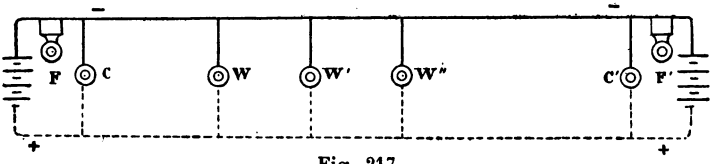


Fig. 217.

tion à la terre a été supprimée. Deux fils isolés règnent respectivement de chaque côté du train. Le premier réunit les pôles positifs des piles ; le second, les pôles négatifs. Dans chaque fourgon F, F' sont placés une pile, une sonnerie et un commutateur C. Dans les wagons sont des boutons d'appel W, W', W''... Il est indispensable que les fils de même nom soient rattachés aux mêmes pôles des piles ; l'inspection de la figure montre que, sans cette condition, l'appareil ne pourrait pas marcher. On voit qu'en agissant sur un commutateur placé soit dans un wagon, soit dans un fourgon, on fait fonctionner les sonneries de chaque fourgon, et que sans cela elles restent immobiles.

Le commutateur des fourgons a quelque analogie avec la clef télégraphique Morse. C'est une manette sur laquelle on peut exercer avec le doigt une pression plus ou moins prolongée, de façon à produire entre les 2 postes des signaux conventionnels.

Digitized by Google

La disposition des commutateurs destinés aux wagons varie avec les compagnies. Ce détail n'offre pas un grand intérêt; et nous étudierons seulement le système adopté au Nord pour que le chef de train puisse, sans recherche, voir de quel compartiment est venu l'appel.

Dans la cloison du wagon est placée une tringle horizontale, qui dépasse de chaque côté la caisse du wagon et qui porte un voyant. La tringle est munie d'une manivelle qui permet de la faire tourner de 90°, et à laquelle est suspendu un anneau. Au bout de la tringle est installé un commutateur en communication avec les fils de la pile. Si un voyageur agit sur l'anneau, la tringle tourne, le commutateur ferme le circuit, et les sonneries marchent. En même temps, le voyant, qui à l'état de repos se présentait par la tranche, apparaît dans toute sa surface et indique le point où le conducteur doit se rendre. Ce dernier, en faisant tourner le voyant, replace les choses dans la position normale.

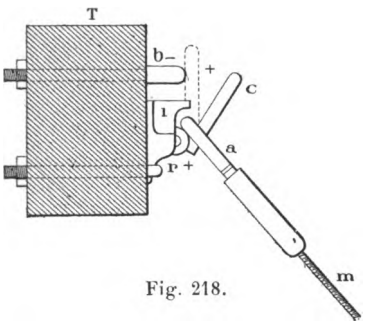


Fig. 218.

Les piles formées de 6 éléments Leclanché sont placées dans des boîtes ou des paniers en osier à 2 compartiments, dont l'un contient la pile, l'autre la sonnerie, et qui sont suspendus aux parois des fourgons.

Il reste une dernière difficulté à résoudre. C'est d'assurer la continuité des lignes dans l'accouplement des wagons. En outre, il faut que, si un attelage vient à se rompre en route, les employés en soient prévenus. Voici comment la question a été résolue :

L'un des conducteurs (fig. 218), le positif, par exemple

Digitized by Google

m, qui est formé d'une corde en fil de cuivre recouvert de gutta-percha, se termine par un anneau *a*. Pour faire l'attelage, on l'accroche à un crochet de cuivre C fixé à la traverse du wagon suivant. Le crochet est adapté à un fort ressort barillet. Avant l'attelage le crochet est maintenu vertical par ce ressort et alors il vient presser contre un téton *b* qui est relié au conducteur négatif du wagon. Quand l'attelage est fait, l'épaisseur de l'anneau écarte le crochet C du téton *b*. Si l'un des wagons reste en route, l'anneau *a* violemment tiré quitte le crochet, qui vient frapper *b* et établit la communication entre les 2 fils; la sonnerie des fourgons se fait alors entendre.

§ **256. Détails d'installation.** — *Piles.* — Pour les sonneries domestiques qui n'exigent pas de courants alternatifs, l'électricité est toujours fournie par des piles. Les éléments que l'on emploie de préférence sont ceux de Leclanché à vase poreux ou à lame de charbon aggloméré. Ainsi que nous l'avons vu § 45, ils ont l'avantage de consommer seulement quand le circuit est fermé. Comme les sonneries marchent toujours avec de nombreuses intermittences, la polarisation n'a aucune influence.

La quantité d'électricité nécessaire pour mettre en mouvement une sonnerie de dimension ordinaire est toujours très faible, sauf dans quelques cas, par exemple, pour actionner de grosses cloches à signaux. Aussi les éléments de pile ne sont jamais accouplés en quantité, et on leur donne de petites dimensions. On n'a à compter qu'avec la résistance de l'électro-aimant et celle de la ligne, et les éléments sont toujours disposés en tension. En pratique, on ne met jamais moins de 2 éléments sur une sonnerie commandée par un bouton d'appel, quand même le circuit n'aurait qu'un développement très faible, afin d'assurer le fonctionnement de la pile. On compte ordinairement un

Digitized by Google

élément Leclanché par longueur de 50 m. de fil. Ainsi 3 éléments suffisant pour actionner une sonnerie sur un circuit de 50 m., pour une ligne de 200 m., on mettra 6 éléments.

Lorsqu'on se sert de tableaux indicateurs, on doit compter environ $\frac{1}{4}$ d'élément par numéro.

Si l'on calculait théoriquement la force électromotrice de la pile, on arriverait à des chiffres beaucoup plus faibles ; mais il vaut mieux augmenter un peu la dépense première pour la pile et assurer le bon fonctionnement de l'installation, d'autant plus qu'on n'opère pas sur des appareils de précision ; les timbres laissent quelquefois à désirer sous le rapport de la construction, les fils sont isolés d'une façon imparfaite, et l'entretien est confié à des personnes souvent fort incompétentes.

Fils conducteurs. — Pour l'intérieur des appartements, on emploie du fil de cuivre rouge, que l'on garnit d'une matière isolante formée d'un enduit de poix, bitume et gomme-laque avec couverture de soie ou de coton. Cette enveloppe suffit pour des murs bien secs. Mais quand on désire un isolement plus parfait, lorsqu'on se trouve dans des endroits humides, tels que des constructions neuves, on doit employer comme isolant la gutta-percha. Le fil recouvert de cette matière est ensuite enveloppé de soie ou de coton, pour empêcher le conducteur de se dénuder quand la chaleur ou l'humidité désagrègent l'enduit isolateur.

Lorsque les fils sont nombreux, il est bon de leur donner des couleurs différentes, afin qu'on puisse facilement en suivre le parcours sans s'exposer à les confondre.

Pour les parties extérieures et pour celles qui sont placées sous les planchers, il est bon de les garantir par une couche de plomb. On fait alors des câbles comprenant plusieurs fils et contenus dans le même tube de plomb,

Digitized by Google

comme nous le verrons à propos des conducteurs téléphoniques.

Pour les fils de cuivre, les diamètres généralement adoptés sont les suivants :

0,9 mm, qui sert pour les communications à établir dans les appartements ; 1,0 mm., — 1,1, — 1,2, qu'on emploie pour les conducteurs généraux, les colonnes montantes.

Le tableau n° 4 (*Appendice*) donne le diamètre des fils de cuivre avec leur poids et leur résistance électrique.

Pour les conducteurs placés à l'extérieur, on emploie des fils de fer galvanisé ; un tableau (*Appendice*) indique les diamètres et les poids de ces fils.

Pour les distances ne dépassant pas 50 m., on emploie généralement le fil de 1,8 mm. de diamètre. Pour les grandes distances, on se sert de fil ayant de 2 à 2,5 mm. Ces conducteurs sont placés, comme ceux des télégraphes et des téléphones, sur des poteaux, des consoles ou des cadres en bois avec interposition d'isolateurs en porcelaine.

Les fils de cuivre se posent le long des murs dont ils suivent tous les contours. Pour les fixer, on fait usage de petits crochets, et de pitons en fer émaillé dont on se sert pour les angles et les coins. Dans les parties planes, on emploie de petits manchons à gorge en os, fixés au mur par une pointe en fer qui les traverse suivant leur axe. Ils servent à tendre les fils qui sont enroulés sur leur gorge.

Quand un conducteur en cuivre ou en fer traverse un mur, il est indispensable de le recouvrir d'un tube de caoutchouc dépassant un peu des deux côtés, pour éviter l'influence de l'humidité.

Recherche d'un défaut. — Quand une sonnerie ne marche pas, le défaut provient de la pile, de la ligne, ou des appareils. On le vérifie avec un galvanomètre. On commence par l'intercaler au moyen de 2 fils courts entre les pôles de la pile. Si l'aiguille n'est pas déviée, c'est que la batterie

Digitized by Google

Dans cette position, la voix est transmise. Quant à la

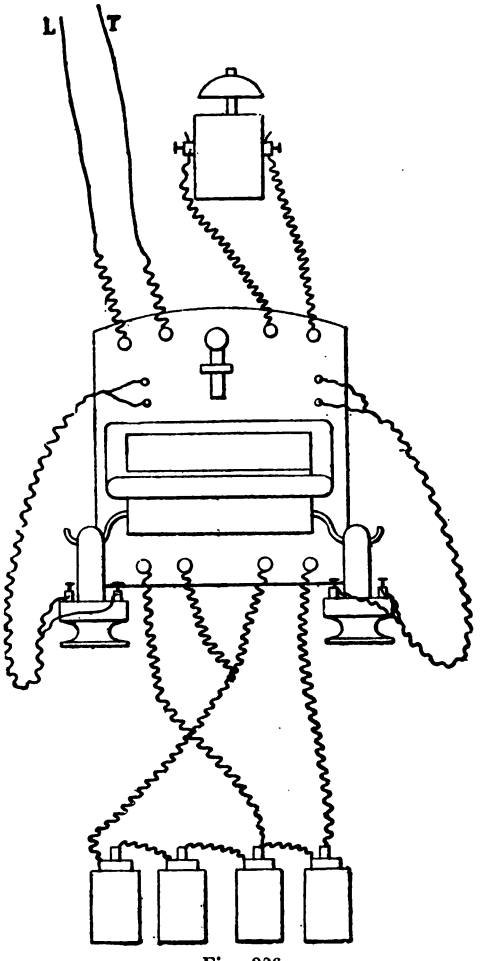


Fig. 226.

sonnerie, elle est dans chaque poste placée hors circuit.

Digitized by Google

La fig. 226 montre l'ensemble de l'appareil. La boîte microphonique est portée par une planchette fixée au mur, elle est située à 1,20 m. ou 1,30 m. du sol. Les récepteurs placés de chaque côté de la boîte sont pendus à des cordons contenant 2 fils conducteurs souples. Le crochet de droite seul est mobile; c'est lui qui sert de commutateur, comme nous l'avons expliqué. L'appareil est muni d'un parafoudre à dents de peigne.

Fonctionnement. — Voici comment on se sert de l'appareil :

1° Les 2 récepteurs étant accrochés (fig. 226), on commence, au poste n° 1, par presser le bouton d'appel pour prévenir le n° 2; on attend que ce dernier accuse réception en actionnant à son tour la sonnerie n° 1;

2° On décroche les 2 récepteurs qu'on applique contre les oreilles;

3° On parle devant le transmetteur, en se mettant à environ 5 centimètres du pupitre, et en gardant les récepteurs près des oreilles;

4° Quand la conversation est finie on replace les récepteurs à leurs crochets, et on presse le bouton de sonnerie pour indiquer que la conversation est terminée.

Dérangements. — Les dérangements peuvent provenir de la pile, du parafoudre ou du crochet mobile servant de commutateur.

Il n'y a rien de particulier à dire sur la pile. Pour voir si le commutateur fonctionne, on relève le crochet et on met le récepteur à l'oreille. En frappant légèrement sur la planchette du transmetteur, on doit entendre un son. Si l'appareil continue à ne pas fonctionner, il faut vérifier s'il n'existe pas de contact entre les fils aboutissant au parafoudre.

Digitized by Google

§ **261. Installation d'un poste téléphonique.** — Quand on emploie les téléphones magnétiques, comme ceux de Bell, chaque station comporte seulement un de ces appareils; car nous avons vu qu'ils servent également de récepteurs et de transmetteurs; il suffit donc de les réunir par un double fil, ou par un simple fil en établissant la communication d'une borne à la terre. Il faut ajouter encore une sonnerie avec sa pile ou une sonnerie magnétique. On la relie au fil par un commutateur.

Pour l'installation d'un poste téléphonique ordinaire, prenons comme exemple celui d'Ader. La figure 226 nous montre la disposition des appareils.

Piles. Sonneries. — La même batterie de piles sert pour la sonnerie et pour le transmetteur. On emploie ordinairement 6 à 9 éléments, dont 3 seulement sont destinés au transmetteur, comme l'indique la figure. La pile travaillant par intermittences, les éléments Leclanché conviennent parfaitement à cet usage. Ceux de Lalande et Chaperon sont également employés.

La sonnerie n'offre rien de particulier. Comme elle a par elle-même une assez forte résistance et qu'elle est placée au deuxième poste, c'est-à-dire à une grande distance, elle exige un nombre d'éléments qui varie avec ces circonstances.

Dans quelques pays, la Belgique et la Suisse, par exemple, on emploie des sonneries électro-magnétiques mises en mouvement au moyen de petites machines magnétos. Nous en avons parlé dans le chapitre des *Sonneries*, § 246. Dans ce cas, la batterie ne comporte que les piles du microphone.

Bobines d'induction. — Les bobines possèdent un faisceau central en fil de fer. Les 2 fils isolés sont enroulés autour de ce noyau. Le fil primaire de la bobine Ader, de 0,5 mm. de diamètre, a ordinairement une résistance de

Digitized by Google

1,5 ohm; le fil secondaire, de 0,14 mm. de diamètre, a 150 ohms de résistance. Ces chiffres varient du reste avec la résistance de la ligne.

§ **262. Bureau central.** — Nous avons vu comment s'établit une ligne téléphonique entre 2 postes. Dans une ville

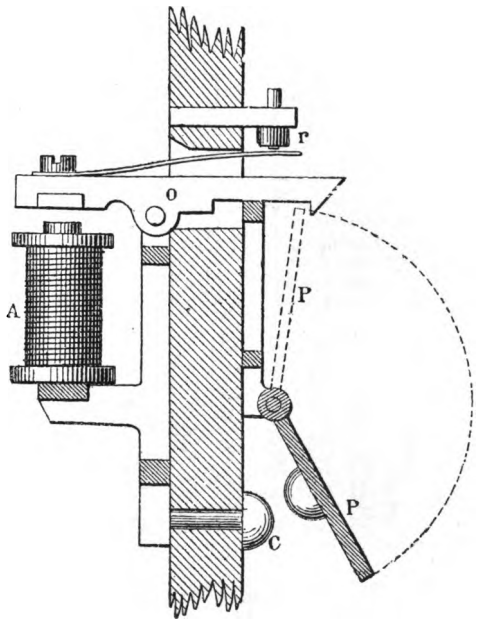


Fig. 227.

il est nécessaire que tous les abonnés, quel que soit leur nombre, puissent communiquer entre eux. Dans ce but, on installe un *bureau central*, où viennent aboutir toutes les lignes et où l'on peut établir momentanément les liaisons entre les divers circuits.

Là se trouve un indicateur, dit *à lapin* (fig. 227), destiné

Digitized by Google

à désigner le numéro de l'abonné qui appelle. Cet appareil comporte un électro-aimant A traversé par le courant de

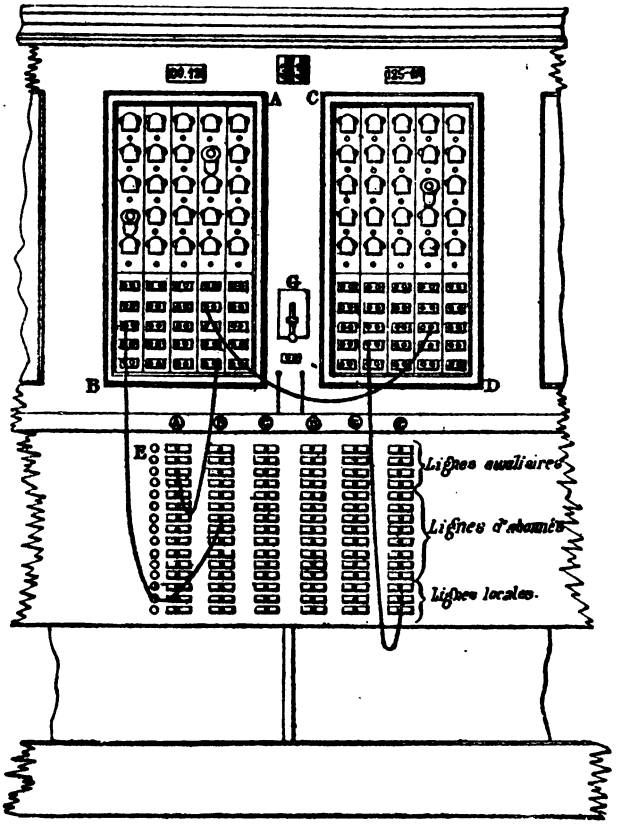


Fig. 228.

ligne. Son armature, mobile autour de son axe O, est maintenue écartée à l'état de repos; un ressort *r* sert à régler la distance. Le crochet de l'armature maintient une plaque

Digitized by Google

P qui cache le numéro de l'abonné. Quand un appel se produit, l'armature est attirée, la plaque P tombe et découvre ce numéro. En même temps, elle touche un bouton C et ferme un circuit local contenant une sonnerie qui avertit l'employé.

Les indicateurs sont groupés au nombre de 25 par tableau (fig 228). Au-dessous sont 25 commutateurs servant à réunir ensemble les circuits des abonnés.

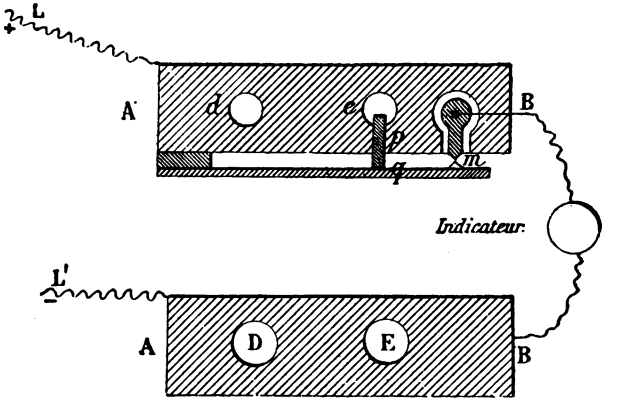


Fig. 229.

Le système de commutateur employé à Paris, et nommé *Jack-Knife*, est indiqué sur la fig. 229. Deux plaques de laiton AB, A'B' juxtaposées, mais isolées l'une de l'autre, communiquent respectivement avec les 2 fils de ligne L, L'. Pour la facilité de la démonstration, la figure les suppose l'une au-dessous de l'autre; en réalité A B est devant A' B'.

Ces plaques sont percées de 2 trous correspondants, D*d*, E*e*, présentant un diamètre plus grand sur A B que sur A' B', et qui reçoivent les chevilles destinées à établir les communications.

Digitized by Google

cordon, comme l'indique la fig. 228. S'ils appartiennent à des tableaux éloignés, on les joint respectivement à des commutateurs auxiliaires, désignés sur la figure sous le nom de *lignes d'abonnés*, qui n'ont qu'un seul trou et pas de ressort, et qu'on appelle *jacks*. Les jacks sont numérotés suivant la place qu'ils occupent dans le panneau, et tous ceux de même numéro communiquent entre eux par des fils placés derrière les cloisons; ils permettent ainsi de réunir 2 commutateurs éloignés sans recourir à de trop longs cordons.

Si deux abonnés n'appartiennent pas au même bureau, on les relie par les *lignes auxiliaires* qui joignent les différents bureaux.

Les *lignes locales* servent au même usage pour les commutateurs placés dans deux parties différentes du même bureau.

§ **263. Distances téléphoniques maxima.** — Suivant M. Preece, la limite de transmission dépend :

1° De la résistance R de la ligne;
2° De sa capacité totale C;
3° De sa nature.

Si l'on exprime R en ohms et C en microfarads, les limites supérieures du produit $R \times C$ permettant des transmissions téléphoniques sont :

Fils de cuivre aériens	15 000	ohms-microfarads.
Câbles et fils souterrains	12 000	»
Fils de fer aériens	10 000	»

L'expérience a démontré que, pour les grandes distances, on devait renoncer à l'emploi des fils de fer.

§ **264. Lignes.** — Les lignes téléphoniques sont aériennes ou souterraines. Les lignes aériennes peuvent se faire en

Digitized by Google

fil d'acier galvanisé de 2 mm. de diamètre, pesant 25 kg. par kilomètre.

On remplace souvent l'acier par du bronze phosphoreux ou silicieux de 1,1 mm. de diamètre, pesant 8,45 kg. par kilomètre. La ligne est ainsi beaucoup plus légère, ce qui permet de diminuer le nombre de poteaux.

Souvent on emploie un fil unique réuni à la terre par ses deux extrémités. Mais il ne faut jamais user de ce procédé quand on a à craindre des effets d'induction.

Les lignes souterraines sont généralement formées de câbles recouverts de plomb. A Paris, chaque câble contient 14 conducteurs de cuivre isolés, constituant 7 lignes doubles d'abonnés. Chaque conducteur comprend 3 brins de fil de cuivre, ayant 0,5 mm. de diamètre, tordus ensemble. L'isolement est produit par la gutta-percha. Ces câbles sont soutenus par des crochets scellés dans les égouts.

Induction dans les lignes. — Quand plusieurs circuits téléphoniques ou télégraphiques sont placés les uns près des autres, il peut se produire dans les fils téléphoniques des phénomènes d'induction qui dénaturent le son. Le moyen d'y remédier consiste à ne pas employer la terre pour fermer le circuit; il faut faire usage d'un double fil de ligne. Les courants induits, étant égaux et de sens contraires dans chacun d'eux, se neutralisent. Cette disposition rend l'installation plus coûteuse. Elle n'est efficace que lorsque la distance des 2 fils aux autres

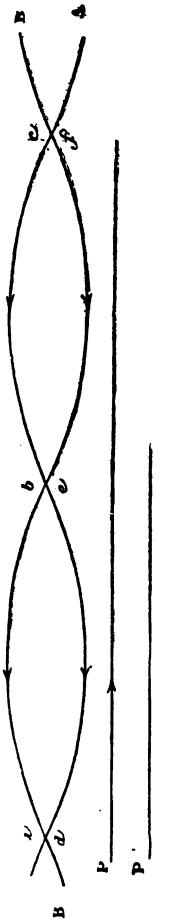


Fig. 232.

Digitized by Google

lignes est à peu près la même. Sur les lignes aériennes on emploie dans le même but les dispositions que nous allons examiner.

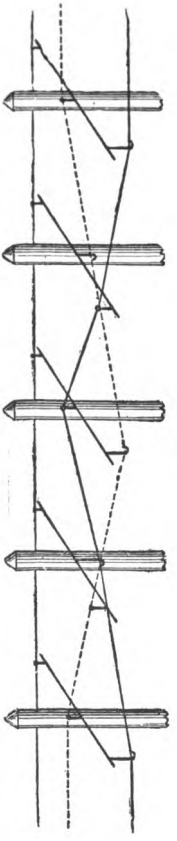
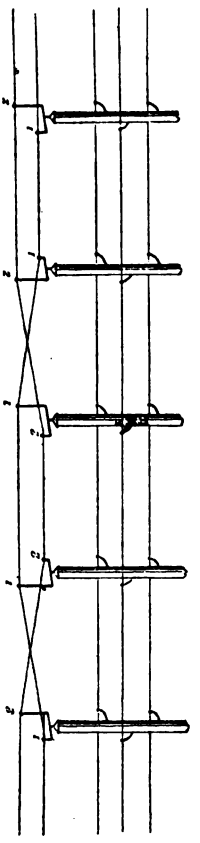


Fig. 233.



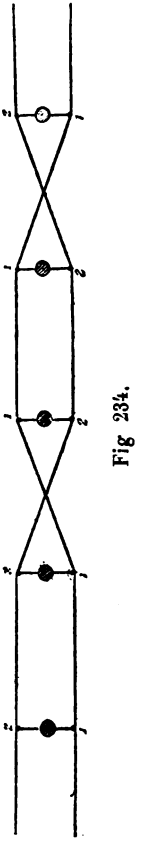


Fig. 234.

Quand la ligne de poteaux porte un seul fil télégraphique, il suffit de placer les 2 conducteurs téléphoniques parallèlement à celui-ci et à égale distance.

Digitized by Google

Mais, dans le cas ordinaire, les poteaux portent plusieurs lignes télégraphiques dont le nombre varie sur tout le parcours. Il faut alors tourner les 2 fils téléphoniques A, B l'un autour de l'autre en hélices allongées (fig. 232). Si les longueurs des spires sont les mêmes pour les 2 fils, et si leurs distances relatives aux fils télégraphiques P, P sont

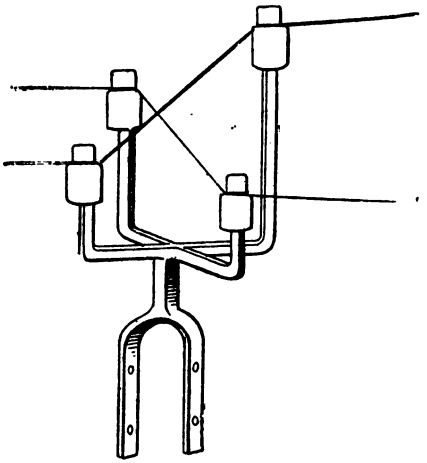


Fig. 235.

égales, la résultante des actions inductrices est la même dans chaque conducteur téléphonique, et leurs effets se neutralisent.

La fig. 233 montre, par exemple, la disposition adoptée pour un circuit téléphonique à double fil sur des poteaux télégraphiques munis de traverses.

Quand les poteaux n'ont pas de traverses, on peut employer le système adopté sur la ligne d'Anvers à Bruxelles (fig. 234). Pour éviter des croisements entre les deux nappes des fils téléphoniques disposés sur les faces

Digitized by Google

des supports, on a placé les fils téléphoniques au sommet, en employant une ferrure spéciale formée de 2 branches d'inégale hauteur. Les branches sont orientées en sens opposé d'un poteau à l'autre. Dans une portée, les 2 fils, sans changer d'altitude, se croisent, en projection horizontale; dans la portée suivante, ils se croisent en projection verticale. Entre 5 poteaux chaque fil fait un tour complet.

Ce mode de croisement peut produire des contacts entre les fils sous l'action des grands vents. Pour l'empêcher, on préfère opérer aux poteaux mêmes les croisements complets, tant en hauteur qu'en largeur. On emploie pour cela une ferrure à 4 branches, de hauteurs inégales (fig. 235). Si 5 poteaux en sont munis, chaque fil, après avoir parcouru cet intervalle, a accompli une spire complète. Les points de croisement complet sont placés, par exemple, tous les kilomètres, et les poteaux intermédiaires ont simplement des ferrures à 2 branches comme celles décrites plus haut.

§ **265. Installations téléphoniques privées.** — Ce que nous avons dit précédemment s'applique à un réseau complet comportant de nombreuses lignes d'abonnés avec bureau central. Les installations privées peuvent être établies d'une façon beaucoup plus simple, et elles sont susceptibles de rendre de nombreux services. Ainsi dans un chantier de construction, comportant des bureaux et des ateliers éloignés les uns des autres, dans les usines métallurgiques et les mines, dans les ministères, les grands entrepôts, etc., la place du téléphone se trouve naturellement indiquée, et son installation peut être bien simplifiée, comme nous allons le voir.

Quand il n'existe que 2 postes, on dispose chacun d'eux comme l'indique la fig. 226, et l'on relie simplement les

Digitized by Google

bornes de ligne par 2 fils. On peut encore se contenter d'un seul fil de ligne, et les 2 autres bornes sont mises en communication avec la terre.

Quand le nombre des postes est plus considérable, on peut les installer des deux façons suivantes :

1° Installation avec poste central desservant les postes secondaires, qui ne peuvent communiquer entre eux que par son intermédiaire.

2° Installation avec *postes embrochés* reliés ensemble par un seul fil et pouvant communiquer à volonté et directement entre eux.

1° *Installation avec poste central.* — Cette disposition est analogue à celle que nous avons décrite précédemment pour un bureau central. Des postes en nombre quelconque sont reliés téléphoniquement. L'un d'eux est *poste central*; les autres sont *postes simples* ou *secondaires.* Les postes simples sont toujours obligés de s'adresser au poste central pour obtenir la communication. Tous les postes sont donc reliés à celui-ci, et de là rayonne une série de lignes.

Chaque poste simple comporte :

1 transmetteur microphonique;
2 récepteurs téléphoniques;
1 parafoudre;
1 sonnerie;
1 pile Leclanché.

Le poste central est formé de :

1 transmetteur microphonique;
2 récepteurs téléphoniques;
1 sonnerie;
1 pile;
1 tableau annonciateur avec jack-knifes.

Du reste, la disposition de ce tableau annonciateur et

Digitized by Google

des jack-knifes varie suivant les constructeurs; ses fonctions sont toujours les mêmes.

L'appel d'un poste quelconque au poste central fait tinter la sonnerie et déclanche un numéro. Un commutateur, dont la pièce essentielle est un cordon à double fiche, permet de relier le poste appelant à celui qui est appelé.

2° *Installation avec postes embrochés.* — La disposition à poste central n'est pas avantageuse quand les postes sont peu nombreux, parce qu'elle a l'inconvénient d'immobiliser constamment un employé auprès du tableau annonciateur. Ce système n'est applicable que quand les communications sont très fréquentes; alors on a un employé affecté uniquement à cet usage.

D'un autre côté, lorsque tous les postes sont situés à la suite les uns des autres, comme, par exemple, les stations d'une ligne de chemin de fer, les conducteurs reliant les postes divers au poste central forment un réseau de fils très encombrant et très coûteux d'installation.

Le système par *postes embrochés* a pour but de permettre l'appel direct d'un poste quelconque, en exigeant seulement *deux fils*, et même un seul fil, si l'on emploie la terre comme retour; ce résultat peut être obtenu quel que soit le nombre des postes.

Le problème a été résolu d'une façon simple par la maison Bréguet. Voici la base de son système :

Tous les postes sont semblables, et il n'existe pas de poste central. Chacun comporte les appareils que nous avons énoncés précédemment pour un poste simple, et en outre :

Un indicateur à cadran;
Un bouton d'appel spécial à tirage.

Tous les postes, quel que soit leur nombre, sont successivement réunis à la suite l'un de l'autre par un fil unique.

Digitized by Google

Si la terre sert de retour, le premier et le dernier poste sont reliés à la terre par une plaque. Si le retour se fait par un fil, le premier et le dernier poste sont réunis par ce conducteur.

Supposons qu'il existe 13 postes, ils seront reliés comme l'indique la fig. 236. L'indicateur à cadran de chaque poste comprend 15 cases numérotées de 1 à 13; la 14e est marquée *occupée*, la 15e est marquée *libre*.

Quand l'aiguille de l'indicateur du poste n° 1 est sur la case 1, elle ferme la sonnerie de ce poste sur la pile locale. Lorsque l'aiguille de l'indicateur du poste n° 2 est sur la

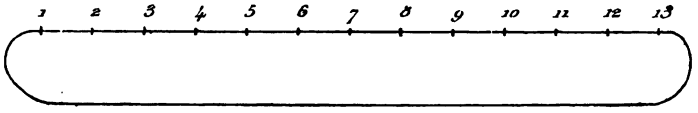


Fig. 236.

case 2, elle ferme la sonnerie de ce poste sur la pile locale, et ainsi de suite.

Admettons maintenant que le n° 10 veuille appeler le n° 3. L'opérateur du n° 10 tire 3 fois sur le bouton d'appel. La première fois toutes les aiguilles se portent sur la case 1, et au poste n° 1 sonne un coup; la deuxième fois, toutes les aiguilles se portent sur la case 2, et au poste n° 2 sonne un coup; la troisième fois, toutes les aiguilles se portent sur la case 3, et au poste n° 3 la sonnerie tintera aussi longtemps qu'aucune modification ne sera apportée à l'ensemble.

Le poste n° 3 étant prévenu, l'employé va à l'appareil, et tire sur son bouton d'appel assez de fois pour amener les aiguilles de l'indicateur sur la case *occupée* (dans le cas présent, 11 fois). La conversation s'établit alors entre le n° 3 et le n° 10.

Digitized by Google

Quand elle est terminée, le poste qui a appelé (le n° 10) tire une fois sur son bouton d'appel; toutes les aiguilles se mettent sur la case *libre*, et la ligne est rendue libre pour tous les postes.

L'avantage de ce système est de supprimer un nombre considérable de fils partant d'un poste central, ainsi que les poteaux isolateurs que comporte une installation de cette nature. Il n'est pas nécessaire que tous les postes soient à la file l'un de l'autre, et plusieurs postes peuvent toujours être embrochés sur un même circuit, quelle que soit leur disposition en plan.

Nous n'entrerons pas dans la description détaillée de l'appareil téléphonique, notre intention ayant été de montrer seulement le moyen d'accoupler plusieurs postes entre eux.

Nous avons un peu insisté sur les installations téléphoniques privées afin d'appeler l'attention des industriels sur ce point intéressant. L'installation du téléphone est toujours fort simple, et dans bien des cas il peut rendre de grands services moyennant une faible dépense.

Digitized by Google

CHAPITRE III

INFLAMMATION DES TORPILLES ET DES MINES

Les amorces électriques peuvent se classer en deux catégories : 1° Les *amorces d'induction ou à étincelle*; 2° les *amorces de quantité ou à fil.*

§ **266. Amorces d'induction ou à étincelle.** — Les deux bouts du conducteur électrique pénétrant dans l'amorce sont séparés, et dans l'intervalle on place une poudre inflammable. Ce système exige une faible intensité, mais une forte tension. C'est dans ce but qu'ont été inventés les machines Beardslée, le coup de poing de Bréguet, l'appareil Marcus. Ces instruments permettent, au moyen de l'induction, d'obtenir des courants à très haute tension avec des instruments de petit volume.

§ **267. Amorces à fil.** — Ce système est adopté dans les marines de plusieurs nations. Les conducteurs sont réunis à leurs extrémités par un fil fin, qui se trouve porté à l'incandescence et détermine l'inflammation. Voici les conditions imposées en France par la commission supérieure des défenses sous-marines :

1° L'amorce doit être assez conductrice pour pouvoir être traversée par un courant d'épreuve reconnaissable au moyen d'un galvanomètre peu sensible, et sans qu'on ait à

Digitized by Google

redouter sa décomposition, son altération ou son inflammation;

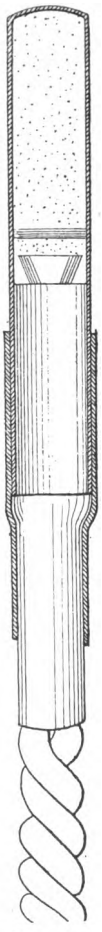


Fig. 237.

2° Le courant doit passer par le cœur même de l'amorce, de façon à donner des indications sur l'état de charge du circuit et de l'amorce elle-même ;

Les appareils les plus simples à construire, à transporter, à réparer, sont seuls susceptibles d'être employés pour l'inflammation.

Les amorces actuellement en usage comportent un fil de platine contenant 15 p. 100 d'iridium et présentant un diamètre de $\frac{1}{30}$ de millimètre. La résistance électrique par mètre varie entre 340 et 400 ohms.

Deux fils de cuivre (fig. 237) ayant 1 mm. de diamètre et recouverts de gutta-percha sont tordus l'un sur l'autre. Les bouts sont fendus avec une scie très fine, et dans la fente on engage le fil de platine enroulé en hélice de façon à former 10 spires. Les bouts de fil et l'hélice sont contenus dans un tube en laiton embouti chargé de 1,5 gr. de fulminate de mercure; ils sont séparés de la charge du tube par un petit tampon de fulmi-coton; les 2 bouts du fil que réunit la spirale de platine se nomment *branches de l'amorce* ; ils ont 60 cm. de longueur. La résistance est de 9 à 10 ohms. Pour déterminer l'inflammation il suffit de 1 ou 2 éléments Leclanché télégraphiques.

Les amorces à étincelle sont d'un prix peu élevé et d'une fabrication facile; à cause de leur résistance on peut les placer sur des conducteurs de faible diamètre, et par conséquent économiques. Les amorces à fil décrites ci-dessus

Digitized by Google

sont au contraire d'une fabrication difficile et doivent être maniées avec précaution; car un choc peut déplacer le fil qui joint les extrémités des conducteurs.

M. Manet a fait disparaître cet inconvénient, en faisant aboutir les conducteurs à 2 plots en cuivre fixés sur un talon en bois, et le fil de platine est soudé à ces plots. L'ensemble est maintenu par un mastic dans le tube.

§ **268. Constantes des amorces.** — L'étude des amorces offre, comme on le voit, quelque analogie avec celle des lampes à incandescence; il importe en effet de connaître l'intensité du courant nécessaire pour amener l'incandescence du fil, et sa résistance à ce moment. Ces données étant connues, on en déduit par la loi de Ohm la différence de potentiel entre les deux extrémités.

Il existe pourtant une différence. Il importe peu dans une lampe que l'éclat soit obtenu dans un temps plus ou moins long, tandis que dans l'amorce l'effet doit être instantané. Il y a donc un autre élément à considérer, c'est l'intensité du courant nécessaire pour amener l'explosion en un temps déterminé.

Pour mesurer l'intensité *minimum* nécessaire à l'explosion d'une amorce, on forme un circuit comprenant l'amorce, une pile, un interrupteur, un galvanomètre et un rhéostat. L'interrupteur étant fermé, et la résistance étant suffisante pour que l'explosion ne se produise pas, on attend que l'aiguille du galvanomètre ait pris sa position d'équilibre; puis on diminue peu à peu la résistance en suivant de l'œil l'aiguille, jusqu'à ce que l'amorce s'enflamme. On note alors l'intensité I du courant.

Pour avoir la différence de potentiel au moment de l'explosion, on met un galvanomètre à grande résistance en dérivation entre les branches de l'amorce, on note la déviation au moment de l'explosion, et l'on a la différence de potentiel d.

Digitized by Google

La résistance *à chaud* r de l'amorce est donnée par

$$r = \frac{d}{I}.$$

Avec l'amorce décrite ci-dessus la résistance à froid est environ 10 ohms, à chaud 10,60 ohms; la différence de potentiel au moment de l'explosion est 1,19 volt, et l'intensité minimum 0,11 amp.; c'est celle qui maintiendrait l'amorce à la température d'explosion. On serait donc sûr avec un courant de 0,12 amp. de déterminer l'explosion, pourvu que le temps ne fût pas limité.

Afin de mesurer l'intensité nécessaire pour déterminer l'explosion d'une amorce dans un temps donné, on dispose l'expérience comme ci-dessus. On diminue peu à peu la résistance, en produisant chaque fois une fermeture d'une durée déterminée, jusqu'à ce que, pour une certaine résistance, l'explosion se produise. L'intensité se calcule au moyen de la force électromotrice de la pile et de la résistance totale du circuit, l'amorce comprise.

Pour assurer l'explosion, on place ordinairement 2 amorces, en cas que l'une vienne à rater, et on les dispose en dérivation. Il importe peu qu'elles soient identiques, il faut seulement que l'une n'ait pas une trop faible résistance; car si elle rate, elle peut empêcher l'autre de faire explosion.

§ 269. **Chapelet électrique.** — Un *chapelet* est un ensemble d'amorçages disposés pour produire des explosions simultanées au moyen d'une même pile.

Les amorçages se placent en tension, en dérivation ou suivant une combinaison mixte. Prenons pour exemple les torpilles. Pour qu'un chapelet donne de bons résultats, il faut que toutes les explosions se fassent à la fois; sinon l'explosion des premières torpilles pourrait avarier les voisines ou rompre le circuit. L'explosion simultanée se

Digitized by Google

produira si tous les amorçages sont d'égale résistance; comme cela est impossible à obtenir en pratique, on y remédie en donnant au courant une grande intensité. On active ainsi l'échauffement des fils, et l'on diminue le temps qui sépare la fermeture du circuit et chaque explosion.

Calcul d'une pile pour un chapelet. — Le calcul suivant permet de grouper les éléments d'une pile et les amorçages d'un chapelet, de manière à avoir un courant d'intensité maximum :

Supposons une pile comprenant un certain nombre d'éléments associés d'une façon déterminée, et un nombre fixe d'amorçages n; le groupement qui produira l'intensité maximum sera celui où la résistance de l'ensemble des amorçages sera égale à la résistance de la pile augmentée de celle du circuit extérieur, comme nous l'avons vu dans l'étude des piles § 48.

Admettons le cas général où les amorçages sont disposés en *circuit mixte*.

Soient t le nombre d'amorçages placés dans chaque dérivation, q le nombre des dérivations, et a la résistance d'un amorçage, on a :

$$(1) \qquad q \times t = n.$$

La résistance d'une dérivation est ta; et celle des q dérivations est $\frac{ta}{q}$.

Soient E la force électromotrice de la pile, R la résistance de la pile et du circuit, i l'intensité du courant circulant dans chaque dérivation ; l'intensité du courant principal est $q\,i$, et l'on a :

$$q\,i = \frac{\mathrm{E}}{\mathrm{R} + \frac{ta}{q}}$$

d'où : $$i = \frac{\mathrm{E}}{qta + \mathrm{R}}.$$

Digitized by Google

Si l'on fait $q = 1$, la formule s'applique à un chapelet où tous les amorçages sont en série. Si $t = 1$, tous les amorçages sont en dérivation.

Le maximum de i se produit quand le dénominateur $q\mathrm{R} + ta$ est minimum. Or, c'est une somme de 2 termes dont le produit est constant, puisque le produit $t \times q$ est égal au nombre fixe n. Cette somme sera minimum quand les deux termes seront égaux, ce qui donne :

$$(2) \qquad q\,\mathrm{R} = t\,a$$

$$\mathrm{R} = \frac{t\,a}{q}.$$

C'est-à-dire que *la résistance présentée par le chapelet doit être égale à la résistance du circuit (pile et conducteur).*

Des équations (1) et (2) on tire :

$$t = \sqrt{\frac{n\,\mathrm{R}}{a}} \qquad\qquad q = \sqrt{\frac{n\,a}{\mathrm{R}}}.$$

Admettons maintenant que, le nombre des amorçages et celui des éléments étant déterminés, on cherche à les grouper l'un et l'autre de façon à produire l'effet maximum. Prenons un exemple.

On veut faire exploser à la fois 12 amorçages formés chacun d'une seule amorce possédant une résistance de 10 ohms. On dispose de 24 éléments Leclanché à aggloméré, dont la résistance est 0,47 ohm, et la force électromotrice 1,4 volt. Un conducteur à 7 fils de 400 mètres de longueur réunit un des pôles de la pile au chapelet; et le circuit est complété par la mer. La résistance du conducteur est d'environ 1 ohm, et nous admettons que celle de la mer est aussi 1 ohm.

La résistance des 24 éléments en tension est :
$24 \times 0{,}47 = 11{,}28$ ohms; la résistance de la pile, du conducteur et de la mer est donc $11{,}28 + 1 + 1 = 13{,}28$ ohms.

Digitized by Google

Nous grouperons les éléments tous en tension, et, d'après ce que nous avons dit plus haut, nous disposerons le chapelet de telle sorte que sa résistance égale 13,28 ohms.

Soient t le nombre d'amorçages placés en tension, et q ceux en quantité, on doit avoir :

$$\frac{t \times 10}{q} = 13{,}28.$$

$$\text{Or } t \times q = 12;$$

$$\text{d'où } t = \sqrt{\frac{12 \times 13{,}28}{10}} = 3{,}9.$$

Prenons 4 qui est le nombre entier le plus rapproché.

On disposera 3 dérivations comprenant chacune 4 amorces en série.

La résistance du chapelet est :

$$\frac{4 \times 10}{3} = 13{,}33 \text{ ohms.}$$

La force électromotrice est :

$$1{,}4 \times 24 = 33{,}6 \text{ volts.}$$

L'intensité du courant principal est :

$$\frac{33{,}6}{13{,}28 + 13{,}33} = 1{,}26 \text{ ampère.}$$

L'intensité dans chaque amorce est :

$$\frac{1{,}26}{3} = 0{,}42 \text{ ampère.}$$

§ 270. **Inflammation des mines.** — *Coup de poing Bréguet.* — Dans les considérations que nous venons de développer, nous avons pris comme but l'explosion des torpilles; mais ce qui a été dit à ce sujet peut s'appliquer aux mines. Certains appareils ont été créés spécialement dans ce but; nous prendrons pour exemple le *coup de poing de Bréguet.*

Digitized by Google

Cet appareil est basé sur l'induction électro-magnétique. Il comprend un aimant en forme d'U, composé de plusieurs lames d'acier superposées. Chacun des pôles est terminé par un noyau cylindrique en fer doux, autour duquel s'enroule une bobine de fil de cuivre isolé. Les 2 extrémités libres de ce fil sont fermées en court-circuit sur l'appareil par l'intermédiaire d'une vis et d'un ressort; ces mêmes extrémités du fil des bobines sont reliées d'autre part aux bornes d'attache des fils de la ligne.

Les pôles + et — de l'aimant sont, en temps ordinaire, réliés par une armature de fer doux qui peut abandonner les pôles en tournant autour d'un axe parallèle à la ligne des pôles. Pour opérer ce déplacement avec rapidité, il est indispensable de donner sur un large bouton un fort coup de poing (d'où vient le nom de l'appareil).

Supposons l'instrument au repos, et les 2 fils d'une amorce reliés aux bornes. Si l'on applique un coup de poing sur le bouton, l'armature s'écarte brusquement; le champ magnétique dans lequel se trouvent les bobines varie rapidement d'intensité; un courant est induit dans les bobines. Or, nous avons vu que le fil des bobines est fermé en court-circuit sur l'appareil; le courant ne passe donc pas encore dans l'amorce; mais, dans une certaine position de l'armature, le ressort qui sert à fermer le court-circuit abandonne à son tour la vis de contact, et le court-circuit des bobines est brusquement rompu pour se fermer par la ligne et l'amorce. Le courant qui passe dans l'amorce est donc renforcé par l'extra-courant de rupture.

Ces appareils sont construits sur trois modèles : pour 2, pour 8 et pour 12 amorces. Le coup de poing du grand modèle pèse 10 kg. Cet instrument est très robuste et peu sujet aux dérangements. Il n'exige pas de pile, comme on le voit d'après la description. Sa portée est très grande;

Digitized by Google

ainsi l'on a pu enflammer des amorces de Paris à Rouen, en prenant la terre comme retour.

Les amorces d'induction sont très dangereuses dans les mines sujettes au grisou. Une circulaire du Ministre des Travaux publics, en date du 19 novembre 1888, invite les propriétaires de mines de charbon à n'employer désormais que des amorces à basse tension. Cette circulaire défend donc l'emploi des appareils électriques à haute tension tels que bobines d'induction, machines statiques, coups de poing, pouvant provoquer des étincelles à distance. Ces appareils exigent du reste des câbles parfaitement isolés ; sinon l'on s'expose à des pertes et à des dérivations de courant.

Exploseur Manet. — MM. Manet ont construit une machine dynamo-électrique à basse tension fondée sur la transformation instantanée de l'énergie mécanique en énergie électrique. Voici les moyens qu'ils emploient :

1° Accumuler la vitesse de rotation communiquée mécaniquement aux induits des dynamos tournant à circuit ouvert, c'est-à-dire sans produire de travail électrique ;

2° Utiliser l'inertie des pièces mises en mouvement pour obtenir la transformation instantanée de ce travail en énergie électrique, qui sert à produire l'explosion.

L'appareil, renfermé dans une boîte hermétiquement close, comporte une dynamo du genre Gramme mise en mouvement au moyen d'une manivelle, par l'intermédiaire d'une série d'engrenages qui lui donnent une vitesse très grande ; un conjoncteur automatique actionné par la force centrifuge sert à fermer le circuit inducteur et le circuit extérieur quand la vitesse est devenue suffisante. Enfin une sonnerie permet d'indiquer à l'opérateur l'état dans lequel se trouvent les amorces et le circuit extérieur.

Il existe 2 modèles : le 1er, destiné à la guerre et à la marine, mesure 27 × 21 × 21 cm. et pèse 11 kg.

Digitized by Google

Le 2e, destiné aux mines, mesure 22 × 16 × 16 cm. et pèse 6 kg. Les forces électromotrices sont 100 et 50 volts; il permet de produire l'explosion simultanée de 1 à 80 amorces, selon la longueur du circuit, avec des conducteurs ordinaires. Le tableau suivant indique en mètres la distance de l'exploseur à la mine, avec emploi de câbles principaux de diamètres ordinaires :

NOMBRE d'amorces	RÉSISTANCE du circuit extérieur ohms	DISTANCE DE L'EXPLOSEUR A LA MINE POUR DIVERS DIAMÈTRES DE CABLES PRINCIPAUX					
		0,9mm	1mm	1,2mm	1,5mm	1,8mm	2mm
		mètres	mètres	mètres	mètres	mètres	mètres
1	61	1 220	1 494	2 135	3 347	4 819	3 947
6	46	920	1 127	1 610	2 524	3 734	4 485
12	28	560	686	980	1 536	2 212	2 736
18	10	200	245	350	548	790	975
20	4	80	98	140	219	316	390

Ces distances expriment la moitié de la longueur du conducteur principal.

Les nombres s'appliquent à des amorces courantes avec fil de 1/20 mm. de diamètre, chargées à la poudre au chlorate de potasse, sans fulmi-coton.

Digitized by Google

SEPTIÈME PARTIE

GALVANOPLASTIE

CHAPITRE PREMIER

§ **271. Considérations générales.** — La galvanoplastie est une application des phénomènes d'électrolyse, dont nous avons développé les lois § 19. Elle se propose deux buts principaux : 1° Recouvrir la surface d'un corps d'une couche métallique destinée à le protéger contre les influences atmosphériques. 2° Précipiter le métal dans un moule conducteur de l'électricité, de façon à en reproduire les empreintes.

Le métal qu'il s'agit de déposer est dissous dans un bain électrolytique. La surface que l'on veut recouvrir est disposée en *cathode*, c'est-à-dire qu'elle est attachée au pôle négatif de la source électrique. L'*anode*, reliée au pôle positif, est formée soit avec le métal entrant dans la composition du bain, et dans ce cas elle se dissout dans le liquide, soit avec un corps étranger conducteur de l'électricité et inattaquable. D'après les lois de l'électrolyse, le circuit se trouve fermé par le liquide du bain, et le métal précipité se dépose sur la surface de la cathode.

La question la plus importante à résoudre est la composition du bain. En effet, la théorie indique que le métal électrolysé se retrouve sur la cathode. Mais ces résultats

Digitized by Google

sont souvent modifiés d'une manière complète par des actions *secondaires* qui interviennent. Ainsi, quand on décompose par l'électricité du sulfate de potasse, on n'obtient pas de potassium sur la cathode, parce que le potassium, étant avide d'oxygène, décompose l'eau du bain; il forme de la potasse, et l'on obtient de l'hydrogène sur la cathode.

Il en est de même avec tous les métaux qui décomposent l'eau; pour les séparer il faut recourir à un artifice, comme de placer au pôle négatif du mercure qui s'amalgame avec le métal au fur et à mesure de sa formation.

La composition du bain a encore une grande importance suivant la nature du métal qu'on soumet à son action. Ainsi il serait impossible de recouvrir un objet en fer d'une couche épaisse de cuivre en employant une dissolution de sulfate de cuivre. En effet, le fer se trouverait attaqué par le liquide du bain, et le cuivre s'y déposerait à l'état de boue. Il en serait de même pour une cathode en zinc; avec le liquide du bain et l'anode de cuivre elle formerait une véritable pile dont l'action serait contraire à celle de la source électrique.

La composition du bain doit donc varier, non seulement avec la nature du métal qu'il faut déposer, mais suivant le métal qu'on doit recouvrir. Dans la plupart des cas, il est difficile de se régler uniquement sur la théorie, et la composition des bains résulte généralement de l'expérience.

Enfin, avant de soumettre un métal à une action galvanique, il faut que sa surface soit absolument dépouillée de tous les corps étrangers qui peuvent le recouvrir, matières grasses, oxydes, etc.; sinon le métal déposé n'offrirait aucune adhérence.

Digitized by Google

DORURE ET ARGENTURE

§ 272. Préparation des objets à dorer et à argenter.

1° *Décapage.* — Pour le cuivre et le bronze, soumis à la dorure ou à l'argenture, on commence par les cuire au rouge sombre qui détruit les matières grasses. Ce procédé n'est pas applicable au laiton ni aux objets comportant des soudures à l'étain; la chaleur pourrait les détériorer. On les décrasse dans une solution chaude de potasse ou de soude.

2° *Dérochage.* — Après avoir été rincés, les objets décapés sont plongés dans un bain contenant de 5 à 20 parties d'acide sulfurique et 100 parties d'eau; on les laisse dans ce bain jusqu'à ce que leur couleur devienne rougeâtre. On les lave et on les passe successivement dans les bains suivants :

1° *Bain de vieille eau-forte.* C'est une dissolution d'acide azotique qui a déjà servi et qui contient peu d'acide. Les objets restent quelques instants dans ce bain.

2° *Bain d'eau-forte,* comprenant :

Acide azotique.....	10 kg.
Sel marin.....	200 gr.
Suie calcinée.....	200 —

Après quelques secondes d'immersion, on lave à grande eau.

3° *Bain à brillanter :*

Acide azotique à 36°.....	6 kg.
Acide sulfurique à 66°.....	8 —
Sel marin.....	400 gr.

Passer rapidement et laver à grande eau,

Digitized by Google

Enfin on termine souvent par l'opération suivante qui dure quelques secondes ; on plonge les pièces dans un bain composé de :

Eau	10 litres.
Azotate de bioxyde de mercure.....	100 gr.

Acide sulfurique pur en quantité nécessaire pour dissoudre le bioxyde.

On lave à grande eau et l'on sèche l'objet dans de la sciure de bois chaude.

Le fer, la fonte, l'acier se décapent dans une solution d'acide sulfurique contenant environ 1 p. 100 d'acide. On emploie souvent aussi l'acide chlorhydrique.

Le maillechort se décape à l'acide chlorhydrique.

Pour le zinc, on commence par une solution chaude de potasse; puis l'objet est soumis quelques instants au bain suivant :

Acide azotique à 36°....	10 litres.
Acide sulfurique à 66°..	10 —
Sel marin.....	100 gr.

Pour décaper l'argent, on le chauffe au rouge, puis on le plonge dans de l'acide sulfurique étendu.

On se sert ensuite de l'acide azotique.

3° *Ponçage.* — Après le décapage, les métaux subissent le ponçage ; on les frotte sous un filet d'eau avec des brosses raides en fil de laiton, qu'on manœuvre à la main ou qui sont montées sur un tour rapide.

§ **273. Dorure.** — Les bains d'or sont constitués avec du cyanure double d'or et de potassium. Il faut commencer par dissoudre l'or dans l'eau régale. On évapore l'acide jusqu'à consistance sirupeuse, et l'on dissout à froid le chlorure d'or ainsi obtenu dans l'eau distillée. Ce chlorure est ensuite traité de différentes façons pour être changé en cyanure.

Digitized by Google

1° *Dorure à froid.* — On prend 100 gr. d'or vierge transformé en chlorure, et on les dissout dans 2 lit. d'eau ; on fait une seconde solution de 200 gr. de cyanure de potassium dans 8 lit. d'eau. On mélange les deux liqueurs et on les fait bouillir pendant une demi-heure. Ce bain s'emploie à froid. Pour l'entretenir, on y ajoute par parties égales du chlorure d'or et du cyanure de potassium. L'anode est en or et suspendue par des fils de platine.

On peut employer la formule suivante :

Eau distillée.....	3 litres.
Cyanure de potassium....	25 gr.
Carbonate de potasse.....	100 —

Ammoniure d'or provenant de 10 gr. d'or.

Pour préparer l'ammoniure d'or, on verse de l'ammoniaque dans une dissolution de chlorure d'or. On filtre, et le précipité encore humide est mélangé à la solution de cyanure de potassium ; on fait bouillir pendant une heure, et l'on ajoute l'eau suffisante pour faire 10 lit.

Les bains d'or à froid sont contenus dans des auges en bois doublées de gutta-percha.

2° *Dorure à chaud.* — Pour la dorure à chaud, on emploie les bains suivants, d'après le métal à dorer :

	Argent, cuivre, alliages riches en cuivre.	Fonte, fer, acier.
Phosphate de soude cristallisé..	600 gr.	500 gr.
Bisulfite de soude	100 —	125 —
Cyanure de potassium	10 —	5 —
Chlorure d'or.....	10 —	20 —
Eau distillée.....	10 litres	10 litres.

On dissout le phosphate à chaud dans 8 lit. d'eau, le chlorure d'or dans 1 lit. d'eau, et l'on mêle les deux liquides. Puis on dissout le cyanure et le bisulfite dans 1 lit. d'eau, et l'on ajoute cette dissolution à la première.

Digitized by Google

La formule suivante donne des résultats très réguliers :

Eau distillée.....	10 lit.
Phosphate de soude.....	500 gr.
Bisulfite de soude.....	150 —
Cyanure de potassium...	10 —
Or en chlorure.....	10 —

L'anode est en platine ; on entretient le bain en y ajoutant la dissolution suivante :

Cyanure de potassium....	20 gr.
Or en ammoniure.....	10 —
Eau.....	1 lit.

Ce bain convient pour dorer le cuivre et ses alliages. Il donne de mauvais résultats pour le fer ; aussi doit-on cuivrer celui-ci préalablement ; sinon l'or n'adhérerait pas au métal.

Ces bains se pratiquent dans des cuves en bois doublées de gutta-percha ; ils sont chauffés à 70° au bain-marie.

Procédé Watt. — M. Watt indique pour la dorure les trois formules suivantes :

1° Dissoudre dans l'eau régale 2,33 gr. d'or ; évaporer dans une capsule de porcelaine ; dissoudre dans 30 gr. d'eau, et traiter par l'ammoniaque. On a un précipité qu'on dissout par le cyanure de potassium. On évapore à siccité et l'on dissout ensuite dans l'eau distillée. La liqueur est additionnée d'eau, de manière à former 1,1 lit.

2° On prend le chlorure d'or fabriqué comme on l'a vu précédemment et dissous dans 30 gr. d'eau, et l'on y ajoute une solution concentrée de cyanure de potassium jusqu'à ce que l'or soit précipité. On lave ce précipité et on le dissout avec du cyanure de potassium. Puis on évapore au bain de sable cette dissolution jusqu'à siccité ; on la redissout dans l'eau froide et, pour en former un bain, on y

Digitized by Google

ajoute de l'eau distillée bouillante jusqu'à ce qu'on ait un volume de 1,1 lit.

3° La dissolution de chlorure d'or est traitée par le sulfhydrate d'ammoniaque ; et le précipité, après un lavage, est dissous par le cyanure de potassium.

Comme l'or a la propriété de se déposer en couche infiniment mince, il suffit de quelques minutes de séjour dans le bain pour donner aux objets une apparence suffisante.

Les bains étant peu résistants, la force électromotrice ne doit pas dépasser 1 volt, d'après M. Fontaine ; et l'intensité par mètre carré de surface à couvrir doit rester inférieure à 10 amp.

§ 274. **Argenture.** — Les bains d'argent sont généralement formés de cyanure d'argent maintenu dissous par du cyanure de potassium. Le courant décompose cette dissolution. L'argent se précipite sur la cathode ; et le cyanogène, s'unissant à l'anode qui est en argent, forme un cyanure qui sert à entretenir le bain.

On commence par préparer de l'azotate d'argent ; on mêle :

Argent pur.....	31 gr.
Acide azotique.. ...	31 —
Eau.....	15,5 —

On obtient ainsi de l'azotate d'argent, qu'on fait cristalliser. La liqueur ne doit pas contenir de cuivre, ce qu'on reconnaît à une teinte verte. Dans ce cas, on extrait l'argent de la dissolution en y mettant du cuivre métallique. L'acide se combine à ce métal ; et l'argent se précipite en une poudre grise, qu'on lave dans l'acide sulfurique étendu et qu'on redissout dans l'acide azotique.

Procédés Watt. — Pour transformer l'azotate d'argent en cyanure, M. Watt emploie les 3 procédés suivants ;

Digitized by Google

1° Dans un vase contenant de l'eau de chaux, jeter peu à peu les cristaux d'azotate d'argent. L'oxyde d'argent se précipite en poudre brune, qu'on lave. Il ne faut pas sécher cette poudre, mais la conserver dans l'eau.

Pour faire le bain d'argent, on dissout la poudre dans le cyanure de potassium, et l'on ajoute de l'eau distillée.

2° Précipiter l'argent en traitant l'azotate par une solution de carbonate de potasse ; on dissout ensuite par le cyanure de potassium.

3° Précipiter l'argent par une dissolution de sel marin ; on obtient un précipité de chlorure qu'on traite par le cyanure de potassium.

Procédé Roseleur. — Préparer l'azotate d'argent comme il suit :

Faire chauffer dans une capsule de porcelaine :

Argent vierge	250 gr.
Acide azotique à 40°	500 —

Évaporer l'excès d'acide jusqu'à fusion de l'azotate d'argent.

Pour préparer le cyanure, dissoudre l'azotate dans 10 à 15 fois son poids d'eau distillée, et traiter par l'acide cyanhydrique. On a un précipité de cyanure d'argent, qu'on lave et qu'on dissout dans le cyanure de potassium.

Le bain a la composition suivante :

Cyanure d'argent	250 gr.
Cyanure de potassium	500 —
Eau	10 lit.

La présence de matières étrangères dans le bain influe sur la nature du dépôt. Ainsi un vieux bain d'argent contenant un peu de matière organique donne des dépôts plus brillants et plus adhérents qu'un neuf. On vieillit un bain en y ajoutant 1 ou 2 millièmes d'ammoniaque liquide. On

Digitized by Google

arrive au même résultat en faisant bouillir le bain pendant quelques heures.

Procédé Bouilhet. — M. Bouilhet dissout 2 kg. d'argent vierge dans 6 kg. d'acide azotique. L'azotate d'argent obtenu est dissous dans 25 lit. d'eau.

On fait une dissolution de 2 kg. de cyanure de potassium dans 10 lit. d'eau. On mêle les deux liqueurs, et on obtient un précipité de cyanure d'argent, qu'on lave et qu'on traite par une dissolution contenant 2 kg. de cyanure de potassium. On étend d'eau jusqu'à ce qu'on obtienne un volume de 100 lit.

Pour donner à ce liquide les qualités d'un vieux bain, on y ajoute 1 kg. de prussiate jaune de potasse.

Manière de procéder. — Les cuves sont en bois doublé de gutta-percha. Les anodes sont en argent pur, et leur surface doit être à peu près égale à celle des objets qu'on argente ; elles sont suspendues par des fils de platine. Les anodes doivent être complètement plongées dans le bain ; sinon elles se couperaient au niveau du liquide.

La force électromotrice nécessaire varie de 2 à 3 volts.

L'intensité du courant est comprise entre 0,15 et 0,5 amp. par décimètre carré. La distance entre les anodes et les pièces est d'au moins 10 cm.

Le dépôt se fait plus rapidement quand le bain est concentré. Aussi l'opération marche-t-elle plus vite au fond du bain, où la densité est plus grande. Il en résulterait une inégalité dans la couche d'argent déposée. Pour y remédier, les pièces sont suspendues à un cadre mobile mis en mouvement par un excentrique, de façon à agiter continuellement le liquide. Il est bon aussi de retourner les objets de temps en temps de bas en haut. En procédant ainsi, l'on évite aussi la formation des stries qui sont produites sur les objets par des courants ascendants dus à la différence de densité du liquide.

Digitized by Google

On commence l'opération dans les conditions que nous avons indiquées. Après un quart d'heure, on retire les pièces pour s'assurer que le dépôt se fait d'une façon uniforme ; on les brosse avec du tartre, on les met dans une solution chaude de cyanure de potassium, et on les replonge dans le bain jusqu'à ce qu'on ait obtenu l'épaisseur voulue.

Le poids d'argent déposé est de 80 à 100 gr. par douzaine de couverts. L'opération demande environ 4 heures.

Généralement on opère à la température ordinaire. On emploie la chaleur quand il s'agit de pièces de petite dimension ou lorsqu'on argente des objets en fer, acier, zinc, plomb, étain, qui doivent toujours être cuivrés avant de passer au bain d'argent.

Les anodes doivent être grises quand le courant agit, et blanchir quand il est interrompu. Si elles noircissent pendant l'opération, il faut ajouter au bain du cyanure de potassium ; si elles blanchissent, mettre du cyanure d'argent.

Les bains finissent toujours par s'appauvrir, parce que la quantité d'argent fournie par les anodes est plus petite que celle qui se dépose. Pour entretenir la solution, on ajoute du cyanure d'argent dissous dans son poids de cyanure de potassium.

Il arrive aussi que le bain se décompose au bout d'un certain temps. Il s'y forme du carbonate de potasse et d'ammoniaque. Pour y remédier, on ajoute de l'acide cyanhydrique, qui forme du cyanure de potassium et met en liberté l'acide carbonique.

La couche d'argent déposée dans les bains décrits ci-dessus est très adhérente. Quand l'épaisseur est suffisante, on retire les pièces, on les rince à l'eau, puis à une solution légère d'acide sulfurique, et enfin à l'eau. Les pièces argentées, après avoir été séchées dans la sciure de bois, sont soumises à un gratte-bossage et au brunissage. Cette

Digitized by Google

opération se fait avec des outils en acier ou en sanguine, ou avec une agate fixée à un manche en bois. Ces outils ont différentes formes ; on les emploie à la main ou au tour ; ils servent à écraser le grain du métal.

Argenture du fer, de la fonte, de l'acier. — Avant d'argenter ces métaux, on les cuivre préalablement dans une dissolution de cyanure de cuivre et de potassium.

Pour argenter l'acier, on peut le soumettre quelques instants au bain suivant :

Azotate d'argent.....	10 gr.
Azotate de mercure.....	10 —
Acide azotique à 40° Baumé.....	40 —
Eau distillée.....	1 200 —

La surface du métal se trouve décapée par cette dissolution et recouverte en même temps d'une couche mince d'argent. On peut alors le soumettre au bain d'argenture galvanique.

NICKELAGE

§ 275. Préparation des objets à nickeler. — Avant de passer au nickelage, les pièces doivent être nettoyées avec grand soin ; il faut même les polir si l'on veut obtenir un dépôt brillant. Le polissage se fait avec un cylindre revêtu de cuir et du sable très fin, ou avec une meule d'émeri. On termine avec de la chaux vive en poudre fine.

Le dégraissage se fait avec :

Potasse d'Amérique.....	1 kg.
Eau chaude.....	10 lit.

On peut encore frotter les objets avec une brosse trempée dans une bouillie chaude de blanc d'Espagne, d'eau et de carbonate de soude.

Digitized by Google

Le dégraissage se fait aussi avec de la benzine.

La composition des bains de décapage varie avec la nature du métal à nickeler.

Pour le cuivre et ses alliages on emploie succesivement les 2 dissolutions suivantes :

1° Acide azotique.....	1 kg.
Eau.....	10 lit.
2° Cyanure de potassium.....	500 gr.
Eau.....	10 lit.

Au lieu de la dissolution n° 2 on peut employer :

Acide sulfurique.....	2 lit.
Acide azotique.....	1 —
Suie calcinée.....	1 décilitre.
Chlorure de sodium.....	100 gr.

Cette solution doit être préparée environ 6 heures d'avance.

Après un lavage à l'eau courante, on procède au nickelage.

Pour décaper le fer et la fonte on emploie :

Acide sulfurique.....	100 gr.
Eau.....	10 lit.

Les objets rincés à l'eau sont ensuite frottés avec de la pierre ponce en poudre, et on les plonge dans un bain contenant :

Acide chlorhydrique.....	1 partie.
Eau.....	5 parties en volume.

Les objets en fer doivent, après le nettoyage, passer immédiatement au bain de nickel, pour éviter la formation d'oxyde qui se produit à l'air.

Le fer peut être nickelé directement; mais il vaut mieux commencer par lui donner une légère couche de cuivre par l'un des procédés exposés plus loin.

Digitized by Google

Le zinc se dissolvant facilement dans les solutions qui composent les bains de nickel doit être revêtu d'une forte couche de cuivre avant de passer au nickelage.

Une légère couche de mercure produit sur le zinc le même effet que le cuivrage et lui permet de subir le nickelage.

§ **276. Bains de nickel.** — Les bains de nickel sont ordinairement formés de sels doubles de nickel et d'ammoniaque. Pour que le dépôt soit solide et présente une bonne apparence, il faut que la dissolution soit neutre. Voici quelques formules employées dans la pratique :

1° *Bain de Roseleur :*

Eau distillée	10 lit.
Sulfate double de nickel et d'ammoniaque	400 gr.
Carbonate d'ammoniaque	300 —

Le sulfate double et le carbonate sont dissous séparément dans l'eau chaude ; et l'on verse peu à peu la solution de carbonate jusqu'à ce que la liqueur soit neutralisée, ce que l'on reconnaît avec le papier de tournesol.

2° *Formule d'Adams :*

Dissoudre 135 gr. de nickel pur dans l'acide sulfurique additionné de 2 fois son poids d'eau ; chauffer jusqu'à dissolution complète ; ajouter l'eau, et neutraliser par l'ammoniaque.

Dissoudre 70 gr. de carbonate d'ammoniaque qu'on neutralise par l'acide sulfurique.

Mélanger les 2 liqueurs, et ajouter de l'eau jusqu'à ce qu'on obtienne un volume de 10 lit.

3° *Bain de Boden :*

Sulfate de soude liquide à 25°	10 lit.
Azotate de nickel	500 gr.
Ammoniaque	500 —

Digitized by Google

4° *Bains de Weston :*

Suivant M. Weston, en ajoutant à une solution ordinaire de nickel de l'acide borique libre ou combiné, on évite la formation de sous-sels sur la cathode ; le dépôt est fin et malléable, il est d'un blanc éclatant, et le bain ne s'altère pas. Voici deux formules :

(1)	Chlorure de nickel	5 parties.
	Acide borique.....	2 —
	Eau distillée.....	100 —
(2)	Sulfate de nickel	3 parties.
	Acide borique	1 —
	Eau distillée.....	60 —

5° *Formules de Powel :*

(1)	Sulfate de nickel.....	270 gr.
	Citrate de nickel.....	200 —
	Acide benzoïque	70 —
	Eau distillée.....	10 lit.
(2)	Chlorure de nickel.....	140 gr.
	Citrate de nickel.....	140 —
	Acétate de nickel.....	140 —
	Phosphate de nickel.....	140 —
	Acide benzoïque	70 —
	Eau distillée.....	10 lit.

L'acide benzoïque, d'après Powel, a la propriété de donner un dépôt brillant et homogène. En outre, il permet au bain de se maintenir à la richesse voulue grâce à la dissolution plus facile des anodes.

§ 277. **Nickelage à épaisseur.** — La formule suivante permet d'obtenir le nickelage *à épaisseur* :

Sulfate de nickel pur.....	1,000 kg.
Tartrate d'ammoniaque neutre.....	0,725 —
Acide tannique à l'éther.....	0,005 —
Eau	20 lit.

Digitized by Google

Le tartrate neutre d'ammoniaque s'obtient en saturant une dissolution d'acide tartrique par l'ammoniaque. Le sulfate de nickel doit être aussi neutralisé complètement. Cela fait, on dissout le tout dans 3 ou 4 lit. d'eau, et l'on fait bouillir un quart d'heure; on ajoute de l'eau de manière à former 20 lit., et on filtre ou l'on décante.

Par ce procédé on obtient de forts dépôts sur de la fonte. Le métal est blanc et homogène, il ne présente ni écailles ni rugosités.

§ 278. **Nickelage des rouleaux d'impression.** — Cette opération a pour but de rendre la surface des rouleaux de cuivre ou de laiton plus unie et plus sûre, et d'éviter le *fardage*.

Les rouleaux sont préalablement nettoyés avec de la térébenthine, des acides faibles, de la potasse chaude, et enfin du cyanure de potassium à 10°. Il ne faut pas, pendant ces opérations, que la surface sèche, car le nickel n'adhérerait pas.

Après un lavage à l'eau froide, on plonge le rouleau dans le bain suivant :

Sulfate double de nickel et d'ammoniaque...	57 kg.
Chlorure de sodium.....	2 —
Eau.....	680 lit.

Le bain marque 5 à 8 degrés Baumé.

Il est contenu dans une cuve en bois doublée de plomb ayant 1,55 m. de long, 0,61 m. de large et 0,88 m. de haut. Les anodes sont des plaques de nickel suspendues à égale distance parallèlement au rouleau. L'intensité est de 1 amp. par décimètre carré de surface à couvrir. Le rouleau est mis en mouvement et est frotté par une brosse qui enlève les bulles d'hydrogène. L'opération dure environ une heure et demie. Une fois commencée, elle ne doit pas être interrompue; sinon la couche n'adhérerait pas.

Digitized by Google

Les bains neufs ne fonctionnent pas bien. On les fait traverser préalablement pendant quelque temps par le courant pour avoir un bon dépôt.

Le bain doit être un peu acide; s'il est alcalin ou trop acide, le dépôt est noir, cristallin et manque de solidité.

§ 279. **Manière de procéder.** — Le bain de nickel doit toujours être absolument neutre. Trop alcalin, il donne un dépôt jaunâtre. S'il est trop acide, le métal n'est pas adhérent et produit des cloques.

La solution doit marquer en moyenne 6 à 8 degrés à l'aréomètre de Baumé. Moins concentrée, elle donne un dépôt trop lent. Si elle dépasse 10 degrés, les sels de nickel cristallisent sur les anodes et empêchent le courant de passer. Pour entretenir la richesse du bain, on y ajoute des cristaux du sel entrant dans sa composition.

L'eau doit être distillée et les réactifs parfaitement purs.

Les anodes sont en nickel pur; on les suspend aux tringles formant conducteurs par des fils de nickel contournés en crochet. Leur surface doit être beaucoup plus grande que celle des cathodes, parce que le nickel est peu soluble dans les dissolutions qui forment les bains.

Il faut agiter souvent les pièces, parce que la richesse du bain n'est pas uniforme. En outre, le métal a une tendance à se porter sur les parties saillantes. Cet inconvénient est diminué quand on change souvent les positions relatives des anodes et des cathodes.

La force électromotrice nécessaire varie dans les différentes phases de l'opération. Pour déposer le nickel sur fer, acier, cuivre, avec anode en nickel, M. Silvanus Thompson conseille d'employer 5 volts au commencement et de terminer par 1,5 à 2 volts. C'est que le dépôt de nickel est accompagné d'un fort dégagement d'hydrogène. Il faut opérer vite au début pour recouvrir toute la pièce,

Digitized by Google

puis aller plus lentement pour éviter la formation de l'hydrogène qui donnerait au dépôt une texture poreuse. Au début, l'intensité doit être de 1,5 amp. par décimètre carré; elle se réduit ensuite à 0,15 ou 0,3 amp.

Pour déposer le nickel sur le zinc, il faut une force électromotrice de 4 à 7 volts.

Pour une dissolution renfermant 10 gr. de nickel par litre, la rapidité du dépôt ne doit pas dépasser 1,8 gr. par heure et par décimètre carré. Un dépôt plus rapide perdrait en qualité. Quand le courant est trop intense, le métal se précipite en poudre grise. Il faut une heure ou deux pour obtenir une couche moyenne.

La température du bain de nickel est d'environ 40°.

A la sortie du bain, les pièces nickelées sont lavées à grande eau, d'abord dans une cuve d'eau froide, puis dans de l'eau chaude, et on les sèche dans de la sciure de bois chaude.

Le polissage s'opère d'abord avec de la bouillie de craie et des brosses animées d'une grande vitesse de rotation; on se sert ensuite de disques de feutre sur lesquels on répand de la chaux en poudre fine, et l'on termine par des disques de laine.

§ 280. **Dépôt de cobalt.** — Le cobalt peut être substitué au nickel pour recouvrir le laiton, le cuivre, etc. Il est moins dur que le nickel; mais le dépôt se fait très facilement, et un faible courant suffit. Le bain que l'on emploie est composé d'un sulfate double de cobalt et d'ammoniaque.

On fait dissoudre 31 gr. de ce sel par litre d'eau; le liquide a une densité de 1,015 à 15°. Il faut une tension de 2 volts. Les anodes sont formées de plaques de cobalt laminé ayant 5 cm. de large sur 18 à 25 cm. de longueur, suivant le volume du bain, et on les espace d'environ 9 à 10 cm.

Digitized by Google

La surface relative des anodes et des cathodes a une grande importance; pour obtenir un bon dépôt il faut que l'anode ait à peu près $\frac{1}{3}$ de la surface de l'objet à recouvrir. Le dépôt peut se faire sur le cuivre, le laiton, le fer, l'acier, et les opérations sont les mêmes que pour le nickelage.

Quand on met l'objet au bain, on doit régler le courant de façon qu'une couche mince se dépose en quelques secondes; ensuite il faut diminuer l'intensité. Sinon le dépôt noircit sur quelques points. Quand on opère sur le cuivre, on emploie, pour commencer, un courant un peu plus intense qu'avec le laiton; et on le diminue au bout de quelques instants, quand l'objet a été complètement couvert.

Pour avoir un dépôt mat, après que l'objet a reçu la première couche, on le retire, on le frotte avec de la pierre ponce ou de la brique pilée, et après un lavage on le remet au bain avec un courant plus fort qu'on réduit ensuite.

Pour obtenir le brillant, on se sert de brosses en fil d'acier humectées de bière et montées sur un tour; on trempe ensuite l'objet dans du cyanure de potassium, on rince à l'eau bouillante, et l'on fait sécher dans de la sciure de bois.

Un faible courant suffit pour les objets en fer et en acier; un seul élément Daniell est nécessaire. Pour la fonte il faut un courant plus fort.

Quand on dépose plusieurs couches successives de nickel sur un même objet, l'adhérence n'est jamais complète, et les diverses couches se séparent l'une de l'autre. Le même fait ne se produit pas avec le cobalt.

La densité du bain doit être maintenue d'une manière constante à 1,015; on compense le liquide évaporé par une addition d'eau; mais il ne faut pas étendre la liqueur

Digitized by Google

au delà de cette limite, car on s'exposerait à avoir des taches.

On n'a pas encore obtenu de dépôts adhérents de cobalt sur le zinc. Le cobalt ne convient pas pour les ustensiles de cuisine; il est attaqué par le vinaigre, les acides et certains légumes. Sauf cette exception, il peut recevoir les mêmes applications que le nickel.

§ **281. Dépôt d'antimoine.** — Le procédé suivant est indiqué par M. Watt :

Tartrate double d'antimoine et d'ammoniaque. — On prépare une solution de 18 gr. d'acide tartrique dans 300 cm^3. d'eau. On sature d'ammoniaque la solution précédente et on l'étend de son volume d'eau. Un bain trop concentré donne un dépôt peu adhérent; on emploie 3 éléments Daniell.

L'anode est en antimoine. L'antimoine déposé a l'aspect du platine gris. On peut ainsi, dans bien des cas, remplacer par ce métal le platinage ou l'oxydé sur argent qui coûtent bien plus cher.

§ **282. Étamage.** — On peut employer la formule suivante :

Pyrophosphate de soude.....	5 kg.
Protochlorure d'étain fondu.....	500 gr.
Eau.....	500 lit.

Le pyrophosphate est dissous dans l'eau. Le protochlorure placé dans un tamis de toile métallique est plongé dans cette dissolution, et l'on agite fortement. Les anodes sont en étain. Pour entretenir le bain, on ajoute avec le tamis parties égales de pyrophosphate et de protochlorure d'étain.

On obtient encore un bain d'étain comme il suit :

Digitized by Google

Solution de soude caustique à 3° Baumé....	100 lit.
Chlorure d'étain.....	10 gr.
Cyanure de potassium.....	30 —

Les anodes sont en étain.

Ce bain peut servir à étamer tous les métaux.

§ **283. Zingage.** — Pour le zingage on emploie une solution de sulfate de zinc présentant une densité de 1,2; l'intensité du courant doit être de 0,2 à 0,3 amp. par décimètre carré; l'anode est en zinc pur. Pour obtenir un dépôt plus compact, on maintient en suspension dans le bain un peu de sulfure de zinc, que l'on produit en faisant passer dans le liquide un courant d'hydrogène sulfuré. D'après M. Minet, l'électrolyse donne une couche de zinc plus régulière et plus durable que le zingage par immersion.

CUIVRAGE ET LAITONAGE

Dans les opérations de cuivrage, nous établirons deux catégories :

1° Le cuivrage à faible épaisseur destiné à recouvrir certains métaux comme le fer, la fonte, le zinc, d'une mince couche de cuivre uniquement pour leur donner meilleur aspect. Le cuivrage à faible épaisseur sert aussi, comme nous l'avons vu, à préparer le fer, le zinc à recevoir une couche d'or ou d'argent, qui sans cette précaution ne présenterait aucune adhérence.

2° Le cuivrage à forte épaisseur, dans lequel le cuivre a pour but de protéger le métal contre l'oxydation. On ne l'emploie guère que pour le fer et la fonte; nous en ferons l'objet d'un chapitre spécial.

§ **284. Cuivrage à faible épaisseur.** — Pour cuivrer tous

Digitized by Google

les métaux usuels, on peut se servir des 2 formules suivantes :

1° Carbonate de cuivre récemment préparé...	1 kg.
Cyanure de potassium à 70°	3 —
Eau	25 lit.
2° Acétate de cuivre	500 gr.
Carbonate de soude.....	500 —
Sulfite de soude.....	500 —
Cyanure de potassium	750 —
Eau.....	15 lit.

Ce bain s'emploie à froid et à chaud.

§ **285. Cuivrage du zinc.** — M. Roseleur indique 2 formules, selon que les pièces présentent de grandes ou de petites dimensions :

	Grosses pièces.	Petites pièces.
Eau.....	25 lit.	25 lit.
Bisulfite de soude.....	300 gr.	100 gr.
Cyanure de potassium..	500 —	700 —
Acétate de cuivre.....	350 —	450 —
Ammoniaque.....	200 —	150 —

M. Watt donne la recette que voici pour le cuivrage du zinc :

Dissoudre 230 gr. de sulfate de cuivre dans 1 lit. d'eau chaude. Laisser refroidir, et ajouter peu à peu de l'ammoniaque jusqu'à ce que la liqueur devienne d'un bleu clair. Verser alors une dissolution concentrée de cyanure de potassium jusqu'à ce que ce bleu disparaisse. Le bain s'emploie à 50 ou 55°.

Avant de passer au bain, les pièces de zinc sont décapées dans :

Acide sulfurique...	450 gr.
Eau.....	10 lit.

On passe ensuite dans un bain alcalin.

Digitized by Google

§ **286. Cuivrage du fer et de l'acier.** — Formules de M. Roseleur :

	A froid.	A chaud.
Bisulfite de soude.....	500 gr.	200 gr.
Cyanure de potassium...	500 —	700 —
Carbonate de soude.....	1000 —	500 —
Acétate de cuivre.....	475 —	500 —
Ammoniaque.....	350 —	300 —
Eau.....	25 lit.	25 lit.

La force électromotrice nécessaire pour le bain au cyanure varie de 3 à 5 volts.

Enfin, pour cuivrer le fer, la fonte ou l'acier, on peut se servir du procédé de M. Gauduin, que nous décrirons plus tard, en parlant du cuivrage de ces métaux à forte épaisseur.

§ **287. Laitonage du zinc.** — Pour couvrir le zinc d'une couche de laiton, on emploie un bain composé de :

Carbonate de cuivre récemment précipité....	100 gr.
Carbonate de zinc id.	100 —
Carbonate de soude.....	200 —
Cyanure de potassium.....	200 —
Bisulfite de soude.....	200 —
Acide arsénieux.....	2 —
Eau.....	10 lit.

Les anodes sont en laiton.

Pour les petites pièces en zinc on emploie le procédé suivant. On fait 2 dissolutions, la première contenant :

Eau.....	20 lit.
Bisulfite de soude.....	700 gr.
Cyanure de potassium à 70 p. 100.....	1000 —

La seconde est formée de :

Digitized by Google

Eau	5 lit.
Acétate de cuivre	350 gr.
Protochlorure de zinc	350 —
Ammoniaque	400 —

On mélange les 2 liquides et on filtre. L'anode est en laiton.

§ 288. **Laitonage de fer, fonte, acier.** — On prépare 2 dissolutions :

1°	Eau ordinaire	8 lit.
	Bisulfite de soude	200 gr.
	Cyanure de potassium à 70 p. 100	500 —
	Carbonate de soude	1000 —
2°	Eau ordinaire	2 lit.
	Acétate de cuivre	125 gr.
	Protochlorure de zinc neutre	100 —

On mélange les 2 liqueurs pour former le bain de laiton.

Précautions à prendre. — L'intensité du courant dans un bain de laitonage influe beaucoup sur la couleur du dépôt. Ainsi un courant faible donne un dépôt rouge; avec un courant trop fort, le dépôt est blanc. Il faut donc pouvoir régler le courant.

Quand le dépôt est trop rouge, on ajoute dans le bain du sel de zinc, ou bien on remplace momentanément l'anode de laiton par une plaque de zinc. Si le dépôt est trop blanc, on augmente la richesse du bain en cuivre; ou bien on remplace, pour quelque temps, l'anode de laiton par du cuivre rouge.

La tension nécessaire varie de 3 à 4 volts; l'intensité est de 0,4 à 0,5 amp. par décimètre carré.

§ 289. **Cuivrage à forte épaisseur du fer et de la fonte.** — Nous avons traité à part le cuivrage à forte épaisseur du

Digitized by Google

fer et de la fonte parce qu'il constitue une industrie toute spéciale opérant toujours sur une échelle assez vaste. Il s'agit, en effet, de recouvrir d'une épaisse couche de cuivre des objets de grande dimension, comme des statues, des candélabres pour l'éclairage des rues. Pour la composition des bains, on ne peut songer à employer les formules exposées précédemment; car elles comportent des réactifs d'un prix trop élevé et elles exigent des soins assez minutieux. Il en est de même pour la production de l'électricité, qu'on ne peut demander à des piles.

Il existe deux procédés de cuivrage reposant sur des principes tout à fait différents.

1° *Procédé Oudry.* — Dans le système de M. Oudry, le fer est d'abord enduit d'un vernis, et c'est sur cette matière qu'on dépose le cuivre. Il y a donc séparation complète entre les deux métaux. C'est que le fer et le cuivre, au contact l'un de l'autre en présence de l'humidité, constituent un véritable élément de pile dans lequel le fer est le pôle négatif. Celui-ci se trouve donc attaqué très vivement. Ce fait se remarque quand une déchirure se produit sur la couche de cuivre recouvrant du fer, surtout en présence de l'eau de mer.

C'est pour parer à cet inconvénient que M. Oudry sépare les 2 métaux. Le fer est recouvert d'abord de peinture au minium, puis d'un vernis résineux très résistant que l'on fait sécher à l'étuve. Pour rendre cette surface conductrice de l'électricité, on la couvre de plombagine; puis la pièce est soumise au bain de sulfate de cuivre qui est formé comme il suit :

On fait un mélange d'eau et d'acide sulfurique contenant 10 p. 100 d'acide en volume; et dans cette eau acidulée on fait dissoudre du sulfate de cuivre presque jusqu'à saturation. Ce bain doit marquer 25° Baumé; on l'emploie à froid, et on l'entretient avec des cristaux de sulfate de

Digitized by Google

cuivre. Mais il faut éviter qu'il soit complètement saturé, car il se forme alors sur les anodes des cristaux qui arrêtent le courant. Les anodes sont en cuivre.

Ce système, adopté pour les candélabres de la ville de Paris, a l'inconvénient d'empâter la sculpture et de lui ôter son caractère artistique. En outre, cette couche de cuivre, qui n'est pas adhérente, peut être enlevée très facilement.

Pour réparer les points défectueux, on forme une espèce d'enduit avec de la résine, du copal et du cuivre en poudre, et on l'applique avec un fer chaud.

2° *Cuivrage adhérent du fer et de la fonte.* — Pour obtenir un cuivrage adhérent du fer et de la fonte, on peut employer les 2 systèmes suivants :

1° *Procédé Weill.* — Ce procédé repose sur l'emploi d'une liqueur alcaline ; c'est un tartrate double de cuivre et de potasse avec un excès de potasse. Ce bain a l'inconvénient de n'être pas assez *décapant* ; il dissout imparfaitement l'oxyde de fer qui peut se former à la surface du métal ; il en résulte un défaut d'adhérence.

2° *Procédé Gauduin.* — Le bain de M. Gauduin est acide. Il est formé d'un oxalate double de cuivre et de soude, avec grand excès d'acide oxalique.

Cet acide dissout facilement les oxydes de fer ; il est donc *décapant* et favorise l'adhérence des deux métaux. Mais ce sel est peu soluble dans l'eau ; l'opération exige une température de 50 à 60°. Pour se servir de ce bain, il faut le mettre dans une cuve en cuivre chauffée au bain-marie par un second récipient en tôle qui est placé directement sur le foyer.

L'auteur a supprimé cet inconvénient en remplaçant la soude par l'ammoniaque qui a la propriété de dissoudre facilement les sels de cuivre. Dès lors le chauffage du bain n'est plus nécessaire, et l'on peut opérer dans des cuves en

Digitized by Google

maçonnerie enduites de ciment. Ce procédé est appliqué au Val d'Osne pour le cuivrage des statues.

Pour former le bain, on dissout du sulfate de cuivre dans l'eau, et l'on précipite par le carbonate de soude. Après un lavage, on reprend le précipité par l'eau de pluie ; on y verse une dissolution d'acide oxalique. Puis on ajoute de l'ammoniaque jusqu'à ce que la liqueur s'éclaircisse tout à fait et prenne une belle couleur bleue.

Les proportions sont :

Eau de pluie.....	100 lit.
Sulfate de cuivre.....	2,50 kg.
Acide oxalique.....	5,30 —
Ammoniaque	5,00 —

Les objets en fer ou en fonte, avant le bain, sont décapés dans une dissolution d'acide sulfurique à $\frac{1}{10}$, puis dégraissés dans une dissolution chaude de carbonate de soude. Chacune de ces opérations est suivie d'un rinçage.

Les anodes sont en cuivre. Pour entretenir le bain, on y ajoute de temps en temps un peu de dissolution ammoniacale de cuivre. Les vieux bains, chargés d'oxalate de fer, donnent des dépôts plus liants que les bains neufs.

Pour procurer au cuivre une épaisseur suffisante, on termine l'opération dans un second bain formé de sulfate de cuivre contenant 10 p. 100 d'acide libre. Ce bain marche plus vite que le premier et coûte moins cher.

Pour obtenir un dépôt de cuivre, d'après M. Fontaine, on ne doit pas dépasser en pratique une intensité de 1 amp. par décimètre carré. La force électromotrice nécessaire varie de 0,5 à 1,5 volt.

§ 290. **Modelage par galvanoplastie.** — Cette industrie a pour but de reproduire des modèles par galvanopastie; elle comprend la reproduction des médailles, des clichés, des

Digitized by Google

statues, etc. Les moules se font généralement en gutta-percha. Cette matière, qui est très résistante à la température ordinaire, se ramollit dans l'eau chaude et acquiert une grande plasticité. En outre, elle résiste aux acides et aux dissolutions salines.

Une fois qu'on a pris avec la gutta-percha l'empreinte qu'on veut reproduire, on rend sa surface conductrice en la frottant de plombagine; et le moule ainsi préparé est placé comme cathode dans un bain galvanique.

Le dépôt se fait peu à peu; il commence par les points d'attache du conducteur. La force du courant est donc au début concentrée sur un petit espace, et le métal déposé est cassant. Pour y obvier, on diminue autant que possible l'intensité au commencement; on emploie comme anode un fil de métal au lieu d'une plaque, et c'est seulement quand tout le moule est couvert qu'on se sert de la plaque.

Pour l'argent et l'or on emploie les bains dont nous avons donné la formule précédemment à propos de l'argenture et de la dorure.

Pour le cuivre on se sert du bain au sulfate que nous avons déjà décrit. La nature du dépôt dépend beaucoup de l'intensité du courant.

Reproduction des planches de gravure. — Une importante application du modelage par galvanoplastie est la fabrication des plaques de cuivre servant à reproduire les matrices des gravures. Voici comment ce procédé est mis en pratique par l'*Ordnance Survey*, de Southampton, pour les planches des cartes géographiques.

Les dimensions des plaques sont 0,67 m. de largeur, 0,98 m. de longueur; les épaisseurs sont 1,56 mm. pour les matrices, et 3,19 mm. pour les doubles. Dans celles-ci l'épaisseur doit être absolument uniforme, afin d'éviter les défauts d'impression qui résulteraient de la moindre différence. Pour le travail des corrections, il faut que le grain du cuivre soit très souple,

Digitized by Google

La plaque de réception destinée à être reproduite est d'abord nettoyée avec une dissolution de potasse, puis elle est chauffée et recouverte de cire sur la face postérieure. La face comportant la gravure est enduite d'une solution de cyanure d'argent, puis brossée avec de la teinture d'iode. On forme de cette façon une couche d'iodure d'argent qui empêche l'adhérence entre la plaque de réception et le *double*.

Après avoir subi cette préparation, la plaque de réception est fixée dans un châssis ; ses coins sont recouverts d'un enduit qui les protège contre les dépôts de cuivre ; cet enduit se compose de plâtre, cire d'abeille, colophane et suif de Russie. Le plâtre sert à augmenter la densité du mélange, pour que, si des parcelles de l'enduit se détachent, elles ne flottent pas, et ne s'incrustent pas dans le cuivre. Pour avoir une épaisseur uniforme, il faut que le châssis soit bien horizontal et qu'aucun corps étranger ne vienne se mêler au dépôt. L'anode est placée au fond du bac à 0,025 m. de la plaque de réception. Cette distance est maintenue par des taquets en bois portés par le châssis.

Le bain est une dissolution de sulfate de cuivre contenant 5 p. 100 d'acide libre ; la densité est 1,15. Le liquide doit toujours être en mouvement, et dans ce but, le bac est monté sur un axe longitudinal autour duquel il oscille. Ce mouvement empêche la dissolution de s'appauvrir près de l'anode, il s'oppose en outre à la polarisation.

L'atelier comporte 23 bacs réunis en série. Pour que le dépôt soit bon, l'intensité ne doit pas dépasser 0,66 amp. par décimètre carré. La moyenne du courant fourni est 35 amp. Chaque bain a une résistance de 0,009 ohm et nécessite une tension de 0,02 volt.

La force électromotrice pour obtenir 35 amp. est $23 \times 0{,}02 + (0{,}009 \times 23 \times 35) = 7{,}7$ volts. En comp-

Digitized by Google

tant 2,5 volts pour les conducteurs, on voit que la machine doit fournir 10 volts.

§ **291. Auges à galvanoplastie.** — Nous avons indiqué précédemment le mode de construction des auges destinées à la dorure, à l'argenture et au nickelage. Pour le bain de sulfate de cuivre à grande dimension on emploie le bois doublé de plomb.

On obtient encore de bons récipients avec du bois de chêne bien boulonné et recouvert de la composition suivante :

Poix de Bourgogne.....	1500 gr.
Gutta-percha vieille.....	250 —
Pierre ponce pilée fin.....	750 —

On fait fondre la gutta-percha, et on la pétrit avec la pierre ponce, puis on y ajoute la poix de Bourgogne. On passe plusieurs couches. Pour bien étendre le mastic, on promène à sa surface un fer à repasser ou un fer à souder. Cette composition ne convient pas pour les bains de cyanure.

Pour les bains de décapage formés d'acide sulfurique étendu d'eau, on emploie des cuves en bois doublées de plomb.

§ **292. Production de l'électricité.** — *Pile simple.* — Quand on opère avec des bains de sulfate de cuivre, on emploie quelquefois le bain lui-même comme source d'électricité; c'est ce qu'on appelle la *pile simple.*

Supposons qu'on veuille cuivrer une pièce *p* (fig. 238); on la relie par un conducteur C à une plaque de zinc amalgamé Z contenue dans un vase poreux V. Le tout est ensuite plongé dans le bain même de sulfate de cuivre. On constitue ainsi une véritable pile Daniell, dont le zinc forme le pôle —, et dont la pièce *p* constitue le pôle +; le

Digitized by Google

circuit est complété par le conducteur C et le liquide. Le courant va du pôle — au pôle + à travers le liquide, et le cuivre métallique se dépose en *p*.

Pour augmenter à volonté l'intensité du courant, il suffit d'accroître le nombre des vases poreux et des plaques de zinc; on peut ainsi proportionner la quantité d'électricité à la surface qu'il s'agit de recouvrir.

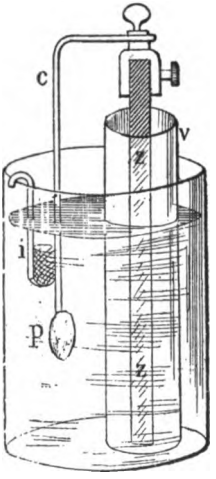


Fig. 238.

Ce système est économique pour une petite installation obligée de recourir aux piles, parce qu'elle supprime toutes les batteries qui prennent de la place et exigent beaucoup de soins. Mais il a l'inconvénient de dénaturer la composition du bain, auquel vient toujours se mêler du sulfate de zinc filtrant à travers le vase poreux. Pour entretenir le bain, on met des cristaux de sulfate dans une petite corbeille *i* suspendue dans le liquide.

Quand on a à traiter un grand nombre de pièces, on place la dissolution de sulfate dans une cuve en bois doublée de gutta-percha ou de plomb (fig. 239). Deux barres de laiton *p*, *p* sont placées sur les bords. Des tringles *a*, *a* supportent les zincs contenus dans les vases poreux *v*, *v*, d'autres tringles *b*, *b* soutiennent les pièces *i*, *i* qu'il faut cuivrer. Des cristaux sont placés dans des corbeilles logées aux encoignures S.

Appareils producteurs de l'électricité. — Pour produire l'électricité nécessaire aux opérations de galvanoplastie, on peut se servir des piles, des accumulateurs et des dynamos.

Digitized by Google

Les piles conviennent pour les petites installations; on peut employer les éléments du genre Daniell; on se sert de ceux de Bunsen quand on a besoin d'une force électromotrice plus considérable. Les éléments Leclanché ne conviennent pas à cause de la facilité qu'ils ont à se polariser.

Les accumulateurs donnent de bons résultats, surtout

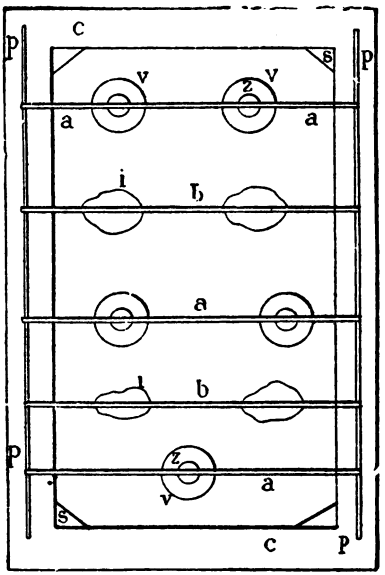


Fig. 239.

dans une usine où l'on a par moments un excès de force motrice disponible qu'on peut employer à charger les batteries.

Pour une installation importante, c'est la dynamo qui doit être employée. Les types des machines destinées à cet usage offrent peu de résistance; elles donnent des courants de grande intensité, mais avec une force électromotrice peu

Digitized by Google

élevée. Nous avons vu, en effet, que la tension nécessaire pour décomposer les divers bains ne s'élève jamais qu'à quelques volts. En y ajoutant la perte due à la résistance des conducteurs, on n'arrive jamais à de hautes tensions. Nous avons indiqué § 60 les types de machines destinés à la galvanoplastie. Pour ces opérations on emploie généralement des dynamos excitées en dérivation. Il se produit, en effet, dans les bains une force contre-électromotrice, comme dans le chargement des accumulateurs. Si cette force devient à un moment donné supérieure à celle de la machine, les pôles peuvent se trouver renversés. Ce phénomène ne se produit pas dans une machine excitée en dérivation.

Si l'on opère avec des dynamos excitées en série, il faut bien veiller à ce que la force électromotrice de la machine ne s'abaisse jamais au-dessous de la limite exigée pour les bains. Il est prudent d'installer un *coupe-circuit* qui interrompt automatiquement le circuit dès que la force électromotrice de la machine s'abaisse au-dessous de cette limite. Ce coupe-circuit est généralement formé d'une plaque en fer doux articulée qui, lorsque le courant a sa valeur normale, est attirée par un électro-aimant traversé par le courant, et ferme le circuit. Quand l'intensité diminue, la plaque de fer s'éloigne et rompt la communication.

Précautions à prendre. — Les machines doivent être montées aussi près que possible des bains afin de diminuer la perte due à la résistance des conducteurs.

Avant de mettre les bains en circuit il faut que la machine soit en marche et qu'elle ait pris sa tension normale aux pôles afin d'éviter les interversions de pôles. Pour mettre les bains hors circuit, on ne doit pas arrêter préalablement la machine; il faut le faire pendant que la dynamo marche à son allure normale. Sinon l'effet de polarisation dont nous avons parlé ci-dessus agissant sur la

Digitized by Google

machine au repos pourrait produire le renversement des pôles.

Il est bon de placer un ampèremètre sur le trajet du bain. Quand le travail produit est peu sujet à varier, on se borne généralement à employer des appareils de construction très simple, et l'on sait par expérience à quel degré l'aiguille doit se placer pour qu'on ait un bon dépôt.

Il est utile de placer un voltmètre aux bornes du bain; car la tension du courant a une grande influence sur la

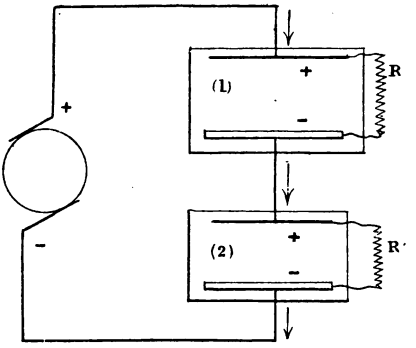


Fig. 240.

qualité des dépôts. Le voltmètre se met en dérivation sur les bornes du bain.

On dispose quelquefois aux bains des régulateurs de courant constitués par des rhéostats. Cette précaution est bonne quand les bains sont placés en série et contiennent des objets de surfaces inégales, ou lorsqu'on dispose en quantité des bains qui n'ont pas la même composition. Ils servent enfin à graduer le courant suivant le dépôt qu'on veut avoir.

Groupements des bains. — Quand on n'a qu'un seul bain,

Digitized by Google

on le relie à la source électrique, de telle façon que l'anode soit attachée au pôle +, et la cathode, au pôle —.

Lorsqu'on dispose de plusieurs bains, on peut les grouper en série, en quantité ou en combinaison mixte.

1° *Bains en série.* — La fig. 240 montre 2 bains groupés en série. Pour que cette disposition soit applicable il faut que les bains soient composés de la même façon et que les surfaces à couvrir soient identiques, sinon il faut y suppléer par des résistances auxiliaires.

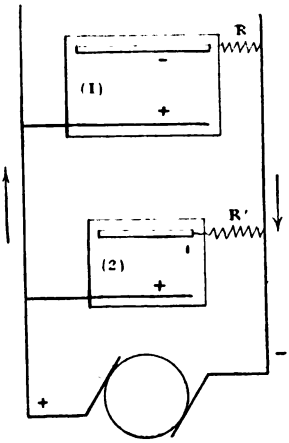


Fig. 241.

L'intensité est la même dans les 2 bains. La tension aux bornes de la machine est égale à la somme des tensions nécessaires à chaque bain, augmentée de celle qui est absorbée par le conducteur. R, R' sont des régulateurs de courant que l'on place en dérivation sur les bains. Quand l'un d'eux offre une surface à recouvrir moindre que l'autre, on fait passer dans le régulateur une partie du courant, en réglant la résistance en conséquence. Si les surfaces sont égales dans les 2 bains, on met les régulateurs hors circuit.

2° *Bains en dérivation.* — La fig. 241 indique 2 bains groupés en dérivation sur 2 conducteurs principaux. C'est la disposition qu'on adopte le plus généralement, parce que l'intensité dans chaque bain varie avec la surface des objets contenus, et chacun d'eux est indépendant des autres.

L'intensité du courant total fourni par la machine est égale à la somme des intensités traversant chaque bain ; et

Digitized by Google

la tension aux bornes de chaque bain est égale à celle de la machine, moins la perte due au conducteur. R, R' sont des régulateurs de courant que l'on peut insérer, quand les bains n'ont pas tous la même résistance.

3° *Combinaison mixte.* — La fig. 242 montre 2 séries de 2 bains 1 1', 2 2' groupées en quantité.

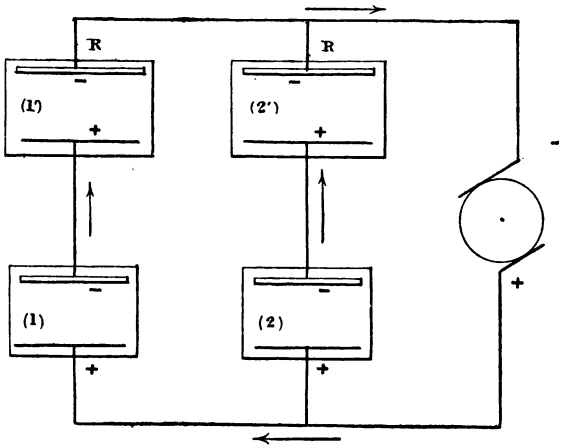


Fig. 242.

L'intensité fournie par la machine est égale à la somme des intensités traversant chaque série; et la tension à l'origine de chaque série est égale à celle de la machine diminuée de la perte due au conducteur. Des régulateurs sont disposés en R, R.

§ **293. Conducteurs.** — Les conducteurs se font ordinairement avec des fils ou des tiges de cuivre nu. La galvanoplastie exigeant des courants à grande intensité et à basse tension, on se trouve conduit à donner aux conducteurs des sections assez fortes. Cet inconvénient n'est pas grand

Digitized by Google

dans la plupart des installations où l'espace est généralement restreint. Du reste, on a rarement intérêt à faire des économies à ce sujet. Car la dépense première est vite couverte par la réduction du travail absorbé. On peut s'en convaincre par l'exemple suivant :

Supposons un courant de 50 amp. passant dans un fil de 4 mm. de diamètre présentant une longueur de 200 m. Le travail transformé en chaleur est égal à

$$\frac{RI^2}{g}.$$

La résistance d'un fil de 4 mm. est 0,00127 par mètre ; celle du fil en question sera donc

$$0{,}00127 \times 200 = 0{,}254 \text{ ohm.}$$

Le travail est

$$\frac{0{,}254 \times \overline{50}^2}{g} = 63 \text{ kgm.}$$

C'est presque un cheval-vapeur.

Prenons un fil de 6 mm. de diamètre ; le travail sera de 29 kgm. ; il a donc été réduit de plus de moitié.

Le premier fil pèse 23 kg. et coûte environ 90 fr. Le second pèsera 50 kg. et coûtera 200 fr. On voit que la différence de prix sera bien vite amortie par l'économie de charbon consommé.

La considération du diamètre des conducteurs, qui a une très grande importance dans l'installation de la lumière et le transport de l'énergie, ne joue donc ici qu'un rôle secondaire, et l'on aura généralement intérêt à sacrifier cette question pour assurer la marche économique de l'usine.

§ **294. Anodes.** — La nature des anodes présente un grand

Digitized by Google

intérêt au point de vue du travail dépensé, suivant qu'elles sont *solubles* ou *insolubles* dans le bain.

Supposons, en effet, qu'il s'agisse de décomposer, par exemple, du sulfate de cuivre avec des anodes en cuivre. Le courant doit séparer l'oxygène et l'acide sulfurique associés au métal; mais ces deux corps viennent se combiner au cuivre de l'anode pour reformer du sulfate. Le travail de dissociation est donc compensé par celui qui est produit dans la nouvelle combinaison, et le courant n'a en réalité à fournir que le travail provenant de la résistance du bain.

Avec des anodes insolubles, il n'en est pas de même; il faut que la source d'électricité fournisse le travail de décomposition, qui n'est plus compensé par un autre et qui est toujours considérable. Ainsi, pour déposer un kilogramme de cuivre dans un bain de sulfate avec anodes insolubles, il faut dépenser environ 1,5 cheval-heure. Aussi emploie-t-on autant que possible des anodes solubles. Elles ont encore l'avantage d'entretenir la richesse du bain.

La surface et la position relatives des électrodes influent beaucoup sur la qualité du dépôt. Si deux surfaces planes sont placées parallèlement l'une à l'autre, l'épaisseur du dépôt n'est pas uniforme. Le métal se porte toujours aux angles et à la partie inférieure de la cathode où le bain est plus dense. Aussi doit-on souvent changer les cathodes de place. Nous avons déjà vu qu'il était bon de leur imprimer un mouvement et d'agiter le bain.

Quand l'objet présente des creux et des bosses, comme une statue, le métal se porte de préférence sur les points saillants. Pour l'éviter, il faut augmenter beaucoup la distance des électrodes afin de diminuer l'importance relative des saillies. Souvent on est obligé d'amener le courant dans les creux avec une petite plaque ou un fil métallique

Digitized by Google

épousant la forme des concavités et relié en dérivation sur le conducteur positif.

Nous avons vu précédemment les surfaces relatives qu'il faut donner aux anodes et aux cathodes suivant les différents bains employés.

Digitized by Google

CHAPITRE II

ÉLECTRO-MÉTALLURGIE

§ **295.** — Depuis quelques années, l'électricité est beaucoup employée dans la métallurgie, soit pour l'extraction, soit pour le raffinage des métaux. Elle permet d'obtenir à l'état de pureté absolue certains métaux, comme le cuivre et le plomb. D'autres, comme l'aluminium, dont l'extraction présentait autrefois des difficultés presque insurmontables, sont produits aujourd'hui d'une façon industrielle, grâce à l'électricité. Le cadre de cet ouvrage ne nous permet pas de traiter cette question en détail. Nous nous bornerons à citer les règles générales.

Nous diviserons cette étude en deux parties :

1° Électro-métallurgie par voie humide; l'électricité agit sur une dissolution des métaux, comme dans la galvanoplastie.

2° Électro-métallurgie par voie sèche; l'électricité agit sur les métaux portés à l'état de fusion par la chaleur que produit le courant.

§ **296.** 1° **Électro-métallurgie par voie humide.** — Pour le raffinage des métaux, on procède comme pour la galvanoplastie. Le métal contenant des impuretés dont on veut le débarrasser, est mis sous forme de plaques, et on le dispose comme anode dans un bain formé par un sel de ce métal; la cathode est une plaque mince du même métal à l'état de

Digitized by Google

pureté. Sous l'action du courant, le métal pur se dépose sur la cathode, et les impuretés se précipitent à l'état de boue dans le bain.

§ 297. **Raffinage du cuivre. Expériences de M. Gramme.** — Pour obtenir du cuivre parfaitement pur, on se sert d'un bain de sulfate de cuivre; on place comme anodes des plaques du cuivre impur qu'il s'agit de raffiner. Comme cathodes on dispose des plaques minces de cuivre pur. Par une opération analogue à celles que nous avons déjà étudiées, l'anode se dissout, le cuivre pur se dépose au pôle négatif, et les impuretés restent dans le bain.

Les anodes étant solubles, tout le travail à fournir sert à vaincre la résistance du bain. Aussi diminue-t-on autant que possible la distance des électrodes; car dans cette opération, on cherche plutôt la quantité que la régularité du dépôt, et les règles que nous avons établies précédemment sur les positions réciproques des électrodes n'ont plus raison d'être.

D'abord on plaçait les bains en dérivation sur le circuit principal. Les expériences suivantes entreprises par M. Gramme ont modifié complètement cette manière de procéder.

1° Il a commencé par disposer en dérivation des bains de sulfate de cuivre, en quantité variable, ayant tous des anodes solubles de même surface (16 décimètres carrés). Il a trouvé que le dépôt ne variait pas (soit environ 7 gr. par heure) avec un seul bain ou 36 bains, c'est-à-dire avec une surface de 16 décimètres carrés ou de 6 m^2.; la quantité de cuivre déposée par kilogrammètre de travail dépensé est restée à peu près la même dans les diverses expériences, elle n'a pas dépassé 1,96 gr.

2° Tous les bains ont été mis en tension, et leur nombre a été augmenté de 1 à 48. La surface d'anodes était la

Digitized by Google

même dans chaque bain, et la vitesse de la machine croissait avec le nombre de bains; la force électromotrice a varié de 1 à 8 volts. Le dépôt de cuivre a crû avec le nombre de bains ainsi que le rendement par kilogrammètre dépensé; le poids de cuivre par kilogrammètre a varié de 1,58 gr. à 23,18 gr.

La conclusion est bien évidente, et l'on voit quelle économie il y a, quand on dispose d'anodes solubles, à mettre les bains en tension plutôt qu'en dérivation.

3° Dans une 3e série d'expériences, M. Gramme a maintenu l'intensité du courant constante, ce qui l'a amené à augmenter la surface d'anodes en même temps que le nombre de bains en tension, afin que la résistance restât toujours la même. Le poids de cuivre déposé dans chaque bain est demeuré invariable dans toutes les expériences; et le poids total a varié de 15 à 60 gr., sans que la vitesse de la machine, la force électromotrice et le travail dépensé aient changé. Comme la quantité totale de cuivre déposée est proportionnelle au nombre de bains, on pourrait conclure de là qu'avec une quantité déterminée de travail on doit obtenir un dépôt illimité. Mais il n'en est pas ainsi; car le bain offre toujours une résistance. En outre, il existe une perte de travail due aux impuretés des anodes, qui peuvent produire une certaine polarisation. Dans la pratique, il y a un point à partir duquel on a plus d'économie à augmenter la source d'électricité que la surface des bains. Mais cette expérience prouve qu'avec des anodes solubles le travail chimique est nul.

4° Dans une 4e expérience, M. Gramme, pour étudier l'influence de la solubilité des anodes, s'est servi de plomb qui est insoluble dans l'acide sulfurique. Le dépôt de cuivre a été beaucoup moindre, la plus grande partie du travail étant absorbée par la polarisation.

Ces expériences montrent que dans une grande installa-

Digitized by Google

tion, et quand on dispose d'un nombre considérable de bains de même nature, on peut avoir intérêt à les grouper en tension; elles font ressortir aussi l'influence de la solubilité des anodes sur le travail dépensé.

A l'usine de Biache, les bains sont associés en tension, pour les raisons que nous avons énoncées précédemment; le cadre positif de l'un est relié au cadre négatif du bain suivant par un conducteur en cuivre. Un brise-courant automatique ouvre le circuit quand la force de polarisation devient trop grande. Les bains sont tous au même niveau et communiquent entre eux par leur fond. La solution de sulfate a 19° Baumé. Les anodes ont 1 cm. d'épaisseur. Pour empêcher l'usure trop rapide de la partie affleurant à la surface du bain, on recouvre cette portion d'un vernis contenant du chromate de plomb.

La distance entre les plaques positives et négatives est de 7 cm.

L'expérience a démontré que pour les bains de cuivre, on ne devait guère s'éloigner de la composition suivante :

Sulfate de cuivre	12 à 15 0/0
Acide sulfurique libre	5 à 7 —

§ **298. Raffinage du plomb.** — Voici comment M. Keith pratique, aux États-Unis, le raffinage du plomb. Des plaques de plomb impur servent d'anodes; les cathodes sont faites en plomb pur. Le bain est une solution concentrée d'acétate plombique, ou plutôt de sulfate de plomb dans l'acétate de soude. Sous l'action du courant, le sulfate de plomb se décompose; le plomb se porte au pôle négatif, l'acide au pôle positif, où il dissout le plomb de l'anode ainsi que le fer et le zinc mélangés à ce métal. L'or, l'argent, l'antimoine ne se dissolvent pas et tombent dans des sacs où on les recueille.

Digitized by Google

§ 299. 2° **Électro-métallurgie par voie sèche.** — Ainsi que nous le disions § 19, pour que l'électrolyse ait lieu, il n'est pas nécessaire que le sel sur lequel on opère soit à l'état de dissolution aqueuse; il peut être amené à l'état de fusion par la chaleur, et dans ce but on utilise la haute température produite par l'arc voltaïque.

Mais l'électricité peut agir de deux façons :

1° Elle sert uniquement à engendrer la haute température nécessaire pour une réaction chimique.

2° En outre de la température qu'elle produit, elle exerce sur les matières en fusion une action électrolytique.

Il existe donc 2 catégories de fours électriques, suivant qu'ils sont destinés à l'un ou l'autre de ces deux usages. Nous allons examiner un exemple de chacun d'eux.

§ 300. 1° **Four Moissan. Production du carbure de calcium.** — Le carbure de calcium, qui sert à la fabrication de l'acétylène, est produit en soumettant à une température très élevée un mélange de carbonate de chaux et de charbon.

Le four imaginé par M. Moissan est formé de deux briques de chaux M, N superposées (fig. 243).

Sur les côtés de la brique inférieure sont pratiquées 2 rainures horizontales destinées à recevoir les électrodes *e*, *e*. Au centre est une cavité C servant de creuset, dont les parois sont garnies d'une couche de la matière qu'il s'agit de traiter; dans le cas actuel, c'est-à-dire pour la fabrication du carbure de calcium, le creuset est revêtu de carbonate de chaux. On peut encore disposer dans cette cavité un petit creuset en charbon où l'on place la matière qu'on doit traiter. La brique supérieure M est évidée en forme de dôme, se fond, et sa surface devenant brillante et polie réfléchit la chaleur sur le creuset. Les électrodes, en charbon, sont mobiles et peuvent être plus ou moins éloignées l'une de l'autre, de façon à augmenter la résis-

Digitized by Google

tance électrique et, par suite, la température. Comme on le voit, les matières sont en dehors de l'arc; l'électricité n'agit que par la chaleur qu'elle engendre, et l'électrolyse ne joue aucun rôle. Les impuretés dues à l'électrolyse ne peuvent se produire, et l'on fabrique ainsi du carbure de calcium pur et cristallisé. Comme la température peut

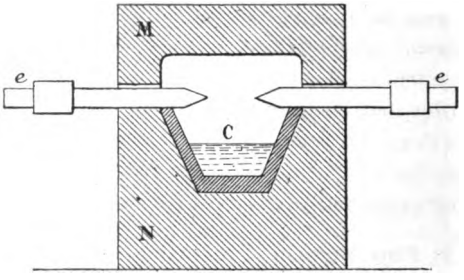


Fig. 243.

être très élevée, grâce à la mobilité des électrodes, on obtient dans ce four des réactions qu'on n'avait pas produites jusqu'à présent. D'après M. Violle, la température atteint 3500°.

§ **301. Fabrication de l'aluminium.** — Dans cette fabrication, on utilise la chaleur engendrée par le courant pour amener la fusion des réactifs, et dans le bain ainsi préparé, l'électricité est encore employée à produire l'électrolyse. Le four est disposé en conséquencc. Voici comment opère M. Kleiner, de Zurich.

On emploie de la cryolithe, ou fluorure double d'aluminium et de sodium; on la réduit en poudre fine et on l'introduit dans un creuset en plombagine. Celui-ci est muni d'électrodes négatives, baguettes de carbone passées à travers le fond, et d'électrodes positives, tiges de carbone fixées à un support et plongeant dans la masse du minerai. Au début de l'opération, on emploie seulement la

Digitized by Google

quantité de cryolithe nécessaire pour remplir le creuset jusqu'à l'extrémité des électrodes négatives; on abaisse ensuite les électrodes positives centrales jusqu'à ce que l'arc voltaïque prenne naissance, avec un courant de 80 à 100 volts et de 60 à 80 amp. En quelques minutes, la chaleur développée amène la fusion du minerai au voisinage de l'arc, et l'on remplit peu à peu le creuset de façon à produire une masse fluide incandescente au centre du bain. Le courant cesse alors de se manifester sous forme d'arc; la chaleur se propage, et l'on abaisse graduellement les autres électrodes positives jusqu'à ce que la majeure partie du minerai soit soumise à l'action électrique. La force électromotrice est ramenée alors à 50 volts, et on n'a plus qu'à maintenir, à la température la moins élevée possible, le bain en fusion pendant 2 ou 3 heures. On laisse ensuite refroidir le creuset dont le contenu est broyé et lavé.

Ce procédé n'est guère employé que dans les laboratoires. La difficulté, dans l'industrie, est de trouver une cuve convenable; car tous les corps sont attaqués par le fluor. Si l'on emploie un métal, il est détruit, de sorte que non seulement la pureté de l'aluminium est altérée, mais l'électrolyse devient impossible. Prenons, en effet, une cuve en fer, il se formera du fluorure de fer, et comme la formation de ce sel exige 50 à 60 cal., tandis que le fluorure d'aluminium en demande 80, au lieu de transporter de l'aluminium sur la cathode, on y déposera le fer de la cuve.

M. Minet emploie un récipient en fonte; mais pour empêcher l'effet que nous venons de signaler, il relie le métal de la cuve en dérivation avec la cathode; sur ce circuit il interpose une résistance calculée de façon que la cuve ne reçoive que 5 0/0 du courant total. Le dépôt d'aluminium se partage donc dans une certaine proportion entre la cathode et la cuve, qui est ainsi protégée. Les électrodes

Digitized by Google

sont en charbon.

Une nouvelle disposition imaginée par M. Minet est la suivante : La cuve est en fonte, et ses parois intérieures sont revêtues d'une couche de charbon aggloméré, qui sert de cathode. L'aluminium qui se dépose le long des parois, se rassemble au fond du creuset, d'où il est extrait par un trou de coulée.

Digitized by Google

APPENDICE

TABLEAU N° 1

LISTE DES CORPS SUIVANT LEUR CONDUCTIBILITÉ

Corps conducteurs	Corps semi-conducteurs	Corps isolants
Argent.	Charbon de cornue.	Laine.
Cuivre.	Charbon de bois.	Soie.
Or.	Coke.	Verre.
Zinc.	Acides.	Cire à cacheter.
Platine.	Dissolutions salines.	Soufre.
Fer.	Eau de mer.	Résine.
Étain.	Air raréfié.	Gutta-percha.
Plomb.	Glace fondante.	Caoutchouc.
Mercure.	Eau pure.	Gomme-laque.
	Pierres.	Paraffine.
	Glace non fondante.	Ébonite.
	Bois sec.	Air sec.
	Porcelaine.	
	Papier sec.	

TABLEAU N° 2

TABLE DE CONDUCTIBILITÉ DES MÉTAUX

Argent pur	100
Cuivre pur	100
Bronze silicieux télégraphique	98
Alliage cuivre et argent à 50 p. 100	88,65
Or pur	78
Aluminium pur	54,2
Bronze silicieux téléphonique	35
Zinc pur	29,9
Bronze phosphoreux téléphonique	29
Alliage or et argent à 50 p. 100	16,12

Digitized by Google

Fer de Suède	16
Étain pur de Banca	15,45
Acier Siemens	12
Platine pur	10,6
Plomb pur	8,88
Bronze à 20 p. 100 d'étain	8,4
Nickel pur	7,89
Antimoine	3,88
Mercure	1,61

TABLEAU N° 3

RÉSISTANCE DES MÉTAUX

Résistances des métaux et alliages usuels à 0° centigrade

NOMS	Résistance à 0° d'un centimètre cube entre ses faces opposées (résistance spécifique)	Résistance à 0° d'un fil d'un mètre de long et d'un millimètre de diamètre	QUANTITÉ pour 100 d'augmentation de résistance par degré centigrade
	Microhms	Ohm	
Argent recuit	1,492	0,01899	0,377
Argent écroui	1,620	0,02062	»
Cuivre recuit	1,584	0,02017	0,388
Cuivre écroui	1,621	0,02063	»
Or recuit	2,041	0,02598	0,365
Or écroui	2,077	0,02645	»
Aluminium recuit	2,889	0,03679	0,39
Zinc comprimé	5,580	0,07105	0,365
Platine recuit	8,981	0,1144	0,247
Fer recuit	9,636	0,1227	0,630
Nickel recuit	12,356	0,1573	»
Étain comprimé	13,103	0,1668	0,365
Plomb comprimé	19,465	0,2478	0,387
Antimoine comprimé	35,210	0,4483	0,389
Bismuth comprimé	130,100	1,6560	0,354
Mercure liquide	94,340	1,2010	0,072
1 partie argent, 2 platine	24,187	0,3078	0,031
2 parties or, 1 argent	10,776	0,1372	0,065

Formule de M. Mathiessen pour calculer les variations

Digitized by Google

de la résistance avec la température : R résistance à t^o ; r résistance à 0° :

$$R = r(1 + at + bt^2).$$

Le coefficient b est négatif pour certains métaux. Les valeurs de a et de b sont :

	a	b
Pour les métaux purs.....	0,00384	+ 0,00000126
Pour le mercure.....	0,0007485	— 0,000000398
Alliage 2 parties d'or et 1 d'argent.	0,0006999	+ 0,000000152
Argent allemand (maillechort).....	0,0004433	— 0,000000062

TABLEAU N° 4

POIDS-RÉSISTANCES DES FILS EN CUIVRE PUR RECUIT A 0° CENT.

DIAMÈTRE mm.	SECTION mm²	POIDS par m. grammes	RÉSISTANCE par kilom. ohms	DIAMÈTRE mm.	SECTION mm²	POIDS par m. grammes	RÉSISTANCE par kilom. ohms
0,1	0,0079	0,0699	2034,2	2,2	3,8013	33,832	4,2028
0,2	0,0314	0,2796	508,23	2,3	4,1548	36,977	3,8453
0,3	0,0707	0,6291	226,02	2,4	4,5239	40,263	3,5315
0,4	0,1257	1,1184	127,14	2,5	4,9087	43,688	3,2547
0,5	0,1963	1,7475	81,367	2,6	5,3093	47,253	3,0091
0,6	0,2827	2,5164	56,504	2,7	5 7256	50,957	2,7904
0,7	0,3848	3,4251	41,514	2,8	6,1575	54,802	2,5946
0,8	0,5027	4,4736	31,784	2,9	6,6052	58,786	2,4188
0,9	0,6362	5,6619	25,113	3,0	7,0686	62,910	2,2550
1,0	0,7854	6,990	20,342	3,1	7,5477	67,174	2,1167
1,1	0,9503	8,458	16,811	3,2	8,0425	71,578	1,9865
1,2	1,1510	10,066	14,126	3,3	8,5530	76,122	1,8679
1,3	1,3273	11,813	12,036	3,4	9,0792	80,805	1,7597
1,4	1,5394	13,700	10,378	3,5	9,6211	85,628	1,6605
1,5	1,7671	15,728	9,0407	3,6	10,1788	90,591	1,5696
1,6	2,0106	17,895	7,9460	3,7	10,7521	95,694	1,4859
1,7	2,2698	20,201	7,0386	3,8	11,3412	100,94	1,4087
1,8	2,5447	22,648	6,2783	3,9	11,9459	106,32	1,3374
1,9	2,8353	25,234	5,6348	4,0	12,5664	111,84	1,2714
2,0	3,1416	27,960	5,0854	4,1	13,2025	117,50	1,2101
2,1	3,4636	30,826	4,6126	4,2	13,8544	123,30	1,1532

Digitized by Google

DIAMÈTRE mm.	SECTION mm²	POIDS par m. grammes	RÉSISTANCE par kilom. ohms	DIAMÈTRE mm.	SECTION mm²	POIDS par m. grammes	RÉSISTANCE par kilom. ohms
4,3	14,5220	129,24	1,1001	7,2	40,7150	362,36	0,39239
4,4	15,2053	135,33	1,0507	7,3	41,8539	372,50	0,38172
4,5	15,9043	141,55	1,0045	7,4	43,0085	382,78	0,37138
4,6	6,6190	147,91	0,96133	7,5	44,1786	393,19	0,36163
4,7	17,3494	154,41	0,92085	7,6	45.3646	403,74	0,35218
4,8	18,0956	161,05	0.88289	7,7	46,5663	414,44	0,34309
4,9	18,8574	167,83	0,84722	7,8	47,7836	425,27	0,33435
5,0	19,6350	174,75	0,81367	7,9	49,167	436,25	0,32594
5,1	20,4282	181,81	0,78207	8,0	50,2655	447,36	0,31784
5,2	21,2372	189,01	0,75055	8,1	51.5300	458,62	0,31004
5,3	22,0618	196,35	0,72416	8,2	52,8102	470,01	0,30252
5,4	22,9022	203,83	0,69759	8,3	54,1061	481,54	0,29528
5,5	23,7583	211,45	0,67245	8,4	55.4177	493,22	0,28829
5,6	24,6301	219,21	0,64865	8,5	56,7450	505,03	0,28155
5,7	25,5176	227,11	0,62609	8,6	58,0881	516,98	0,27504
5,8	26,4208	235,14	0,60489	8,7	59,4468	529,08	0,26875
5,9	27,3397	243,32	0,58436	8,8	60,8212	541,31	0,26268
6,0	28,2743	251,64	0,56505	8,9	62,2114	533,68	0,25681
6,1	29,2247	260,10	0,54607	9,0	63,6173	566,19	0,25113
6,2	30,1907	268,70	0,52918	9,1	65,0388	578,85	0,24564
6,3	31,1725	277,43	0,51251	9,2	66,4761	591,64	0,24033
6.4	32,1699	286,31	0,49662	9,3	67,9291	604 57	0,23519
6,5	33,1831	295,33	0,48146	9,4	69,3978	617,64	0,23021
6,6	34,2120	304,49	0,46697	9,5	70,8822	630,85	0,22539
6,7	35,2565	313,78	0,45314	9,6	72,3823	644,20	0,22072
6,8	36,3168	323,22	0,43992	9,7	73,8981	657,69	0,21620
6,9	37,3930	332,80	0,42726	9,8	75,4297	671,32	0,21180
7,0	38,4845	342,51	0,41514	9,9	76,9769	685,09	0,20755
7,1	39.5928	352,37	0,40352	10,0	78,5398	699,00	0,20342

Digitized by Google

TABLEAU N° 5

SECTIONS ET PRIX DES CONDUCTEURS ISOLÉS

(Isolement ordinaire)

NOMBRE de fils du toron	DIAMÈTRE des fils en millimèt.	SECTION en millimèt. carrés	PRIX par kilomètre (francs)	NOMBRE de fils du toron	DIAMÈTRE des fils en millimèt	SECTION en millimèt. carrés	PRIX par kilomètre (francs)
1	1,1	0,95	120	32	1,1	30,40	1 550
1	1,5	1,76	150	48	1,1	45,60	2 300
1	2,0	3,14	220	64	1,1	60,80	3 000
4	1,1	3,80	320	100	1,1	95	4 500
8	1,1	7,60	500	150	1,1	142,64	6 100
12	1,1	11,40	700	280	1,1	266	10 800
16	1,1	15,20	850	420	1,1	400	12 000
24	1,1	22,80	1 115				

TABLEAU N° 6

SECTIONS ET PRIX DES CONDUCTEURS ISOLÉS

(Isolements forts et très forts)

NOMBRE de fils du toron	DIAMÈTRE des fils en millimèt.	SECTION en millimèt. carrés.	PRIX PAR KILOMÈTRE EN FRANCS				
			Isolement fort	Isolement très fort	Isolement supérieur sous rubans	Isolement supérieur sous tresse	Isolement supérieur sous plomb
1	1,1	0,95	155	345	430	530	710
1	1,5	1,77	225	410	520	630	820
1	2,0	3,14	325	580	710	840	1 000
7	0,9	4,45	450	650	1 040	1 210	1 460
7	1,2	7,91	640	855	1 360	1 540	1 820
7	1,5	12,36	920	1 230	1 750	1 950	2 220
7	1,7	15,89	1 150	1 440	2 000	2 200	2 530
19	1,3	25,08	1 720	2 050	2 700	2 950	3 280
19	1,5	33,44	2 190	2 550	3 250	3 530	3 990
19	1,8	48,26	2 980	3 380	4 280	4 640	5 140
37	1,5	65,12	4 050	4 520	5 550	5 930	6 430
37	1,8	93,98	5 560	6 110	7 280	7 720	8 620
37	2,2	140,64	8 140	8 840	10 350	10 890	11 950
37	3,0	261,54	14 340	15 300	17 280	18 980	19 730
61	2,9	402,91	21 790	24 090	25 390	26 170	28 220

Digitized by Google

TABLEAU N° 7

CABLES, SECTIONS ET RÉSISTANCES

NOMBRE de fils du toron	DIAMÈTRE des fils en mm	SECTION en mm²	RÉSISTANCE par km ohms	INTENSITÉ maximum du courant en ampères (câbles recouverts)
7	0,7	2,69	6,63	8
7	0,8	3,51	5,11	11
7	0,9	4,45	4,04	13
7	1	5,49	3,27	16
7	1,14	7,14	2,52	20
7	1,2	7,91	2,27	23
7	1,3	9,28	1,93	27
7	1,4	10,77	1,67	31
7	1,5	12,36	1,45	35
7	1,6	14,07	1,34	40
7	1,7	15,89	1,13	45
7	1,8	17,78	1,01	49
19	1,14	19,38	0,93	53
19	1,2	21,47	0,84	57
19	1,3	25,08	0,71	62
19	1,4	29,26	0,61	66
19	1,5	33,44	0,535	72
19	1,6	38,19	0,471	81
19	1,7	43,13	0,417	90
19	1,8	48,26	0,372	98
37	1,4	56,98	0,315	112
37	1,5	65,12	0,275	130
37	1,6	74,37	0,242	141
37	1,8	93,98	0,190	152
37	2	116,18	0,155	167

Digitized by Google

TABLEAU N° 8

RÉSISTANCES ÉLECTRIQUES DE QUELQUES ALLIAGES

MÉTAUX	RÉSISTANCE SPÉCIFIQUE en microhms-centimètres	COEFFICIENT de température
Maillechort	20,76 à 0°	0,00044
Manganine	34	Presque nul
Constantan	50	+ 0,000008 à + 0,000018
Rheotan	52,5 à 0	0,00041
Acier au manganèse	75 à 15	0,00136
Ferro-nickel recuit	78,3 à 0	0,00093
Kruppine[1]	85,5 à 20	0,0007
Mercure liquide	94,34 à 0	0,00072

[1] Cet acier (fabriqué à l'usine Krupp) peut être porté à la température de 600° sans subir le moindre changement de structure ; au point de vue mécanique, il a une résistance absolue de 60 kg. par millimètre carré. On le fabrique en fils ayant un diamètre compris entre 0,5 mm. et 2 mm., ou en lames ayant une épaisseur de 0,5 mm, 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm.

TABLEAU N° 9

TABLE DES RÉSISTANCES SPÉCIFIQUES DE DIFFÉRENTES SOLUTIONS SALINES

Résistance en ohms-centimètres à 14°.

Dissolution d'acide sulfurique (densité 1,10)	0,88
— — (densité 1,70)	4,67
Dissolution de sulfate de cuivre (8 p. 100)	45,7
— — (28 p. 100)	24,7
Dissolution saturée de sulfate de zinc	21,5
Acide azotique (densité 1,36)	1,45

TABLEAU N° 10

RÉSISTANCES DES FILS EN FERRO-NICKEL POUR RHÉOSTATS

DIAMÈTRE	RÉSISTANCE par mètre à 0°	DIAMÈTRE	RÉSISTANCE par mètre à 0°
mm	ohms	mm	ohms
0,5	3,989	3	0,111
1	0,997	3,5	0,081
1,5	0,443	4	0,062
2	0,249	4,5	0,049
2,5	0,160	5	0,040

Digitized by Google

TABLEAU N° 11

CONSOMMATION DE GAZ DES DIFFÉRENTS BECS

BRULEURS	LITRES consommés par heure	POUVOIR éclairant en carcels	LITRES DE GAZ par carcel
Papillon.....	150	1,6	120
Argand (ordinaire)	160	1,3	120
Siemens III...	200	3,4	60
Siemens IV...	350	6	58
Intensifs. II....	600	13	46
Différents types I....	1 400	30	46
Différents types O....	2 000	50	40
Différents types OO..	2 400	65	37
Ancien bec Auer..	70	1,3	54
— ...	100	2	50
— ..,	95	5	19
— ...	120	8	15

TABLEAU N° 12

PRIX COMPARÉS DE DIVERS SYSTÈMES D'ÉCLAIRAGE

	QUANTITÉ consommée par bougie décimale	PRIX de l'unité	PRIX par bougie décimale
		Francs	Centimes
Bougie paraffine..	9 gr	1,50 le kg	1,350
Lampe modérateur (huile de colza)..	4,2 gr	1 le kg	0,420
Lampe à pétrole ..	2,5 gr	0,50 le kg	0,125
Gaz, bec papillon..	20 lit	0,30 le m^3	0,600
— bec Bengel...	12 lit	»	0,360
Lampe électrique à incandescence...	3,5 watts	0,80 le kilowatt-heure	0,280
— à arc.....	0,6 watt	»	0,048

Digitized by Google

TABLEAU N° 13

PRIX DE REVIENT DU CHEVAL-HEURE POUR LES PETITS MOTEURS DE DIFFÉRENTS SYSTÈMES

Les chiffres suivants ont été présentés par M. Korte à l'Union des ingénieurs des Mines de Barmen :

Puissance du moteur en chevaux	1/2		1		2	
Durée de l'exploitation en heures par jour.....	10	5	10	5	10	5
1° *Moteur à gaz, à raison de* 0,15 *fr le m³ de gaz* :						
Dépense totale	0,425	0,60	0,2875	0,3875	0,2375	0,30
Dépense pour le gaz seul.	0,2125	0,2125	0,15	0,15	0,15	0,15
2° *Moteur hydraulique à raison de* 0,15 *fr le m³ d'eau* :						
Dépense totale	1,025	1,125	0,95	1,025	0,90	0,9375
Dépense pour l'eau seule	0,90	0,90	0,875	0,875	0,8375	0,8375
3° *Moteur électrique : les 110 watts à Barmen* 0,10 *fr* :						
Dépense totale..... .	1,10	1,175	1,0125	1,0625	0,95	0,9875
Dépense pour le courant	1	1	0,95	0,95	0,90	0,90
3ᵉ a. *Moteur électrique. Prix de Berlin, environ la moitié de ceux de Barmen* :						
Dépense totale.....	0,675	0,7625	0,5625	0,6125	0,50	0,5250
Dépense pour le courant.	0,575	0 575	0,50	0,50	0,45	0,45
4° *Moteur à air comprimé, à raison de* 0,015 *fr le m³ d'air comprimé à Paris* :						
Dépense totale.....	1,0875	1,2125	0,80	0,875	0 675	0,725
Dépense pour l'air et son réchauffement.....	0,9125	0,9125	0,6875	0,6875	0,6125	0,6125
5° *Moteur à vapeur pour la petite industrie* :						
Charbon à 15,60 fr la tonne	»	»	0,30	0,4375	0,2125	0,30
— à 18,75 fr —	»	»	0,325	0,4625	0,225	0,325
— à 25 fr —	»	»	0,3625	0,5125	0,2625	0,3625
6° *Machine à air chaud de Lehmann* :						
Charbon à 15,60 fr la tonne	0,425	0,70	0,2875	0,4625	0,225	0,35

NOTA. — Ces chiffres ont été établis avec les prix de Berlin ; le gaz est compté à 0,15 le m³ ; à Paris il vaut 0,30 fr le m³.

En outre M. Korte ne tient pas compte, pour les moteurs à gaz, de la consommation d'eau qui est d'au moins 25 litres par cheval-heure.

Digitized by Google

TABLEAU N° 14

POUVOIR CALORIFIQUE DES COMBUSTIBLES.

M. Malher a déterminé expérimentalement le pouvoir calorifique de certains combustibles ; voici quelques chiffres que nous extrayons de son travail :

Anthracite de la Mure (grande couche)	7468 cal.
Houille anthraciteuse de Commentry	7850 —
— — du Creusot	8404 —
Houille demi-grasse d'Anzin (fosse St-Marc)	8392 —
— grasse d'Anzin	8051 —
— grasse de Carmaux	8380 —
— grasse de Ronchamp	7839 —
— grasse des houillères de St-Étienne	8392 —
Houille grasse à gaz de Béthune	8210 —
— de Firminy	8161 —
— de Commentry	7870 —
— Cannel de Wigan (Lancashire)	7761 —
Houilles flambantes ligniteuses de Montvic	7790 —
— de Blanzy (puits Ste-Marie)	7866 —
— de Decazeville (Bourran)	7486 —
Lignite de la Terre-de-Feu	4885 —
— de Vaugirard	5536 —
Tourbe de Bohême	5489 —
Bois : Sapin de Norvège partiellement desséché	4477 —
— Chêne de Lorraine	4329 —
Coke métallurgique de la Grand'Combe	7010 —
— de houille de Commentry	7665 —
— d'anthracite de Pensylvanie	7528 —
Huile lourde de pétrole d'Amérique	10910 —
Pétrole raffiné d'Amérique	11047 —
Essence de pétrole d'Amérique	11086 —
Pétrole brut d'Amérique	11094 —
Huile lourde de Bakou	10805 —
Pétrole de Novorossisk	10328 —
Pétrole russe	11040 —

Digitized by Google

TABLEAU N° 15

ÉQUIVALENTS CHIMIQUES ET ÉLECTRO-CHIMIQUES DES PRINCIPAUX CORPS

NOMS DES CORPS	SYMBOLES	ÉQUIVALENTS	
		Chimiques	Electro-chimiques
Hydrogène	H	1	0,010384
Aluminium	Al	13,7	0,14226
Antimoine	Sb	122	1,26685
Argent	Ag	108	1,12147
Arsenic	As	75	0,77880
Azote	Az	14	0,14538
Baryum	Ba	68,5	0,71130
Bismuth	Bi	210	2,18064
Bore	Bo	11	0,11422
Brome	Br	80	0,83072
Cadmium	Cd	56	0,58150
Calcium	Ca	20	0,20768
Carbone	C	6	0,06230
Chlore	Cl	35,5	0,36863
Chrome	Cr	26,2	0,27206
Cobalt	Co	29,5	0,30631
Cuivre	Cu	31,8	0,33021
Étain	Sn	59	0,61266
Fer	Fe	28	0,29075
Fluor	Fl	19	0,19730
Iode	Io	127	1,31877
Magnésium	Mg	12,2	0,12668
Manganèse	Mn	27,5	0,28556
Mercure	Hg	100	1,03840
Nickel	Ni	29,5	0,30633
Or	Au	197	2,04565
Oxygène	O	8	0,083072
Phosphore	Ph	31	0,32190
Platine	Pt	99	1,02802
Plomb	Pb	103,5	1,07474
Potassium	K	39	0,40498
Silicium	Si	14	0,14538
Sodium	Na	23	0,23883
Soufre	S	16	0,16614
Zinc	Zn	32,5	0,33748

Digitized by Google

TABLEAU N° 16

CHALEURS DÉGAGÉES PAR LA FORMATION DES PRINCIPALES COMBINAISONS CHIMIQUES

NOMS	ÉLÉMENTS composants	ÉQUIVALENTS chimiques	NOMBRE de calories dégagées (kilogramme-degré) par équivalent du composé	
			état solide	état dissous
FORMATION DES OXYDES				
Eau	H + O	9	»	34,5
Potasse	K + O + HO	56,1	69,8	82,3
Soude	Na + O + HO	40	67,8	77,6
Ammoniaque	Az + H^3 + 2HO	35	»	21,0
Chaux	Ca + O + HO	37	73,5	75,05
Magnésie	Mg + O + HO	29	74,9	»
Alumine	Al^2 + O^3 + 3HO	78,4	3×65,3	»
Sesquioxyde de fer (hydraté)	Fe + O	36	34,5	»
Peroxyde de fer (hydraté)	Fe^2 + O^3	80	31,9×3	»
Oxyde de nickel (hydraté)	Ni + O	37,5	30,7	»
Oxyde de cobalt (hydraté)	Co + O	37,5	32	»
Oxyde de zinc (anhydre)	Zn + O	40,5	43,2	»
Oxyde de zinc (hydraté)	Zn + O + HO	49,5	41,8	»

1. Les poids des équivalents sont exprimés en grammes ; les calories en kilogrammes-degrés ; les composants et les composés sont pris dans leur état actuel à + 15°.

Digitized by Google

NOMS	ÉLÉMENTS composants	ÉQUIVALENTS chimiques	NOMBRE de calories dégagées (kilogramme-degré) par équivalent du composé	
			état solide	état dissous
FORMATION DES OXYDES (*suite*)				
Oxyde de plomb (anhydre)	Pb + O	111,5	25,5	»
Oxyde de plomb (hydraté)	Pb + O + HO	120,5	26,7	»
Protoxyde de cuivre	Cu^2 + O	71,4	21,0	»
Bioxyde de cuivre (anhydre)	Cu + O	39,7	19,2	»
Bioxyde de cuivre (hydraté)	Cu + O + HO	48,7	19	»
Protoxyde d'étain (hydraté)	Sn + O	67	34,9	»
Bioxyde d'étain (hydraté)	Sn + O^2	75	67,9	»
Protoxyde de mercure	Hg^2 + O	208	21,1	»
Bioxyde de mercure	Hg + O	108	15,5	»
Protoxyde de manganèse (hydraté)	Mn + O	35,5	4,74	»
Bioxyde de manganèse (hydraté)	Mn + O^2	43,5	58,1	»
Oxyde antimonieux (hydraté)	Sb + O^3	146	88,7	»
Oxyde antimonique	Sb + O^4	154	124,3	»
Oxyde d'argent	Ag + O	116	3,5	»
Sesquioxyde d'argent	Ag^2 + O^3	240	10,5	»
Protoxyde de platine	Pt + O	107	7,5	»
Oxyde de bismuth	Bi + O^3	234	68,9	»
FORMATION DES CHLORURES				
Chlorure de potassium	K + Cl	74,6	105	100,8
Chlorure de sodium	Na + Cl	58,5	97,3	96,2

Digitized by Google

NOMS	ÉLÉMENTS composants	ÉQUIVALENTS chimiques	NOMBRE de calories dégagées (kilogramme-degré) par équivalent du composé	
			état solide	état dissous
FORMATION DES CHLORURES (*suite*)				
Chlorure d'ammonium.....	$Az + H^4 + Cl$	53,5	76,6	72,7
Chlorure de calcium.....	$Ca + Cl$	55,5	85,1	93,8
Chlorure d'aluminium.....	$Al^2 + Cl^3$	132,9	53,6×3	79,3×3
Chlorure de fer..	$Fe + Cl$	63,5	41	50
Chlorure de fer (per).....	$Fe^2 + Cl^3$	161,5	32×3	42,6×3
Chlorure de zinc	$Zn + Cl$	68	48,6	56,4
Chlorure de magnésium	$Mg + Cl$	47,5	—75,5	93,5
Chlorure de manganèse.....	$Mn + Cl$	63	56	64
Chlorure de plomb	$Pb + Cl$	139	42,6	39,2
Chlorure de nickel	$Ni + Cl$	65	37,3	46,8
Chlorure d'étain	$Sn + Cl$	94,5	40,2	40,6
— bi..	$Sn + Cl^2$	130	64,6 (liq.)	78,7
Chlorure d'or (proto).....	$Au^2 + Cl$	232,5	5,8	»
Chlorure d'or (per).....	$Au^2 + Cl^3$	303,5	22,8	27,3
Chlorure de cuivre (proto)....	$Cu^2 + Cl$	98,9	35,6	»
Chlorure de cuivre (bi)	$Cu + Cl$	67,2	25.8	31,3
Chlorure de mercure (proto)...	$Hg^2 + Cl$	235,5	40,9	»
Chlorure de mercure (bi)	$Hg + Cl$	135,5	31,4	29,8
Chlorure d'argent.....	$Ag + Cl$	143,5	29,2	»
Chlorure de bismuth	$Bi + Cl^3$	316,5	90,6	»
Protochlorure de platine et de potassium.....	$Pt + Cl + KCl$	209,1	22,6	20,9

Digitized by Google

NOMS	ÉLÉMENTS composants	ÉQUIVALENTS chimiques	NOMBRE de calories dégagées (kilogramme-degré) par équivalent du composé	
			état solide	état dissous
FORMATION DES CHLORURES (*suite*)				
Bichlorure de platine et de potassium.....	$Pt+Cl^2+KCl$	244,6	44,7	42,3
FORMATION DES BROMURES				
Bromure de potassium.....	$K + Br$	119,1	96,4	91
Bromure de sodium	$Na + Br$	103	86,7	86,4
Bromure de calcium.....	$Ca + Br$	100	71,8	84
Bromure d'ammonium.....	$Az + H^4 + Br$	98	67,2	62,9
Bromure d'aluminium.....	$Al^2 + Br^3$	267,4	$40,2\times3$	$69,2\times3$
Bromure de zinc	$Zn + Br$	112,5	39,1	46,6
Bromure de plomb	$Pb + Br$	183,5	34,5	29,5
Bromure d'étain (stanneux).....	$Sn + Br$	139	31,5	»
Bromure d'étain (stannique)....	$Sn + Br^2$	219	50,7	59
Bromure cuivreux.....	$Cu^2 + Br$	143,4	26	»
Bromure cuivrique.....	$Cu + Br$	111,7	17,4	21,5
Bromure mercurique	$Hg + Br$	180	25,9	24,25
Bromure d'argent.....	$Ag + Br$	188	23,7	»
Bromure d'or (aureux)	$Au^2 + Br$	277	1,0	»
Bromure d'or (aurique).....	$Au^2 + Br^3$	437	12,1	8,4
FORMATION DES IODURES				
Iodure de potassium.....	$K + Io$	166,1	80	74,7
Iodure de sodium	$Na + Io$	150	68,8	70,1

Digitized by Google

NOMS	ÉLÉMENTS composants	ÉQUIVALENTS chimiques	NOMBRE de calories dégagées (kilogramme-degré) par équivalent du composé	
			état solide	état dissous
FORMATION DES IODURES (*suite*)				
Iodure d'ammonium.....	$Az + H^4 + Io$	145	50,6	47,1
Iodure de calcium.....	$Ca + Io$	147	53,9	67,7
Iodure d'aluminium.....	$Hl^3 + Io^3$	408,4	23,4×3	53×3
Iodure de zinc...	$Zn + Io$	159,5	24,6	30,3
— de plomb.	$Pb + Io$	230,5	21	»
— cuivreux..	$Cu^2 + Io$	190,4	16,5	»
— mercureux.	$Hg^2 + Io$	327	23,8	»
— mercurique rouge.....	$Hg + Io$	227	17	»
Iodure d'argent..	$Ag + Io$	236	19,7	14,3
— d'or (proto).	$Au + Io$	324	—5,5	»
FORMATION DES CYANURES				
Cyanure de potassium.....	$Cy + K$	65,1	67,6	64,7
Cyanure de sodium.....	$Cy + Na$	49	60,4	59,9
Cyanure d'ammonium.....	$Cy + Az + H^4$	44	40,5	36,1
Cyanure de calcium.....	$Cy + Ca$	46	»	57,7
Cyanure de zinc.	$Cy + Zn$	58,5	29,3	»
— de mercure.	$Cy + Hg$	126	11,9	10,4
— d'argent ...	$Cy + Ag$	134	3,6	»
— de mercure et de potassium.....	$HgCy + KCy$	191,1	8,8	6,2
Cyanure d'argent et de potassium.....	$AgCy + KCy$	191,1	11,2	»
FORMATION DES SULFURES				
Sulfure de potassium.....	$K + S$	51,1	51,1	56,2
Sulfure de sodium	$Na + S$	39	44,2	51,6
Sulfure d'ammonium	$Az + H^4 + S$	34	»	28,4

Digitized by Google

NOMS	ÉLÉMENTS composants	ÉQUIVALENTS chimiques	NOMBRE de calories dégagées (kilogramme-degré) par équivalent du composé	
			état solide	état dissous
FORMATION DES SULFURES (*suite*)				
Sulfure de calcium.....	Ca + S	36	46	49
— de fer.....	Fe + S	44	11,9	»
— de magnésium.....	Mg + S	28	39,8	»
Sulfure de zinc..	Zn + S	48,5	21,5	»
— de nickel..	Ni + S	45,5	9,7	»
— de plomb.	Pb + S	119,5	8,9	»
— de cuivre (proto).....	Cu^2 + S	72	10,1	»
Sulfure de cuivre (bi).....	Cu + S	47,5	5,1	»
Sulfure de mercure..... .	Hg + S	116	9,9	»
Sulfure d'argent.	Ag + S	124	1,5	5
FORMATION DES PRINCIPAUX ACIDES				
Acide azotique (anhydre).....	Az + O^5	54	—0,6 (gaz) 1,8 (liq.)	14,3 14,3
Acide azotique (hydraté).....	Az + O^5 + HO	63	—0,1 (gaz) 7,1 (liq.)	» 14,3
Acide azotique 2e hydrate.....	AzO^6H + 4HO	99	5,0 (liq.)	»
Acide sulfureux .	S + O^2	32	34,6 (gaz)	38,4
Acide sulfurique (anhydre).....	S + O^3	40	46,9 (gaz) 51,8 (sol.)	» 70,5
Acide sulfurique (monohydraté).	S + O^3 + HO	49	62 (liq.)	70,5
Acide sulfurique (bihydraté)....	SO^4H + HO	58	3,1 (liq.)	»
Acide carbonique	C + O^2	22	48,5 (gaz)	51,3
Acide chlorhydrique.....	H + Cl	36,5	22 (gaz)	39,3
Acide bromhydrique..	H + Br	81	9,5 (gaz)	29,5
Acide iodhydrique.....	H + I	128	—6,2 (gaz)	13,2
Acide cyanhydrique.....	Cy (gaz) + H	27	7,8 (gaz)	13,1
Acide sulfhydrique.....	H + S	17	2,3 (gaz)	4,6

Digitized by Google

TABLEAU N° 17

FORMATION DES PRINCIPAUX SELS, DANS L'ÉTAT DISSOUS OU PRÉCIPITÉ, AU MOYEN DES ACIDES DISSOUS

NOMS DES BASES	SYMBOLES	NOMBRE DE CALORIES DÉGAGÉES							
		Azotates AzO^6H	Acétates $C^4H^4O^4$	Oxalates $\frac{1}{2}C^4H^2O^3$	Sulfates SO^4	Carbonates CO^2	Chlorures HCl	Sulfures HS	Cyanures CyH
Soude	NaO	13,7	13,3	14,3	15,85	10,2	13,7	3,85	2,9
Potasse	KO	13,8	13,3	14,3	15,7	10,1	13,7	3,85	3
Ammoniaque	AzH^3	12,5	12	12,7	15,5	5,3	12,45	3,1	1,3
Chaux	CaO	13,9	13,4	18,5(pr.)	15,6	5,8 (pr.)	14	3,9	3,2
Baryte	BaO	13,9	13,4	16,7	18,4(pr.)	11,1	13,85	»	3,2
Protoxyde de fer	FeO	»	9,9	»	12.5	5	10,7	7,3	»
Oxyde de nickel	NiO	»	»	»	13,1	»	11,3	»	»
— de zinc	ZnO	9,8	8,9	12,5	11,7	5,5	9,8	9,6	7,3 (pr:)
— de plomb	PbO(éten)	7,7	6,5	12.8	10,7(pr.)	6,7	7,7	13,3	»
— de cuivre	CuO	7,5	6,2	»	9	2,4	7,5	15,8	»
— de mercure	HgO(préc)	»	3	7	»	»	9,45	24,35	15,5

Digitized by Google

Ces tableaux nous permettent de trouver la chaleur de combinaison des sels ordinairement employés. En effet, le premier donne la chaleur résultant de la formation des oxydes, des chlorures, etc. Le second indique les calories produites par la combinaison des bases avec les acides. En ajoutant les résultats donnés par les deux tableaux, on obtient les chaleurs totales de combinaison des sels. En divisant cette somme par le nombre d'équivalents du métal engagé dans la combinaison, on a la chaleur produite par la formation d'un sel, rapportée à un équivalent du métal, ce qui permet de résoudre quelques-uns des problèmes que nous avons indiqués dans la théorie de la pile et de la galvanoplastie.

Prenons par exemple le sulfate de potasse. Le tableau 16 donne 82,3 pour la chaleur de formation de la potasse : le tableau 17 indique 15,7 pour la combinaison de l'oxyde avec l'acide sulfurique; total 98 calories pour 1 équivalent de potassium (39 grammes), soit 2 512 calories pour 1 kilogramme du métal.

Pour un sel simple, par exemple, le chlorure de sodium, le tableau 16 nous indique la chaleur totale de formation, soit 96,2 pour 1 équivalent (23 grammes de sodium) : ce qui fait 4 183 calories par kilogramme du métal.

Digitized by Google

TABLEAU N° 18

Poids des métaux déposés dans l'électrolyse.

	INTENSITÉ du courant en ampères	TEMPS de passage	MASSE déposée en grammes
Cuivre	1,0	1 heure	1,2739
	851,8	1 —	1000
Argent	1,0	1 —	4,025
	248,5	1 —	1000
Or	1,0	1 —	2,441
	409,7	1 —	1000
Nickel	1,0	1 —	1,099
	919,1	1 —	1000

Forces électromotrices et densités de courants relatives aux principales opérations électrométallurgiques.

	VOLTS
Cuivre, bain acide	0,5 à 1,5
— bain au cyanure	3 à 6
Argent	0,5 à 1
Or	0,5 à 4
Laiton	3 à 4
Fer	1 à 1,3
Nickel sur fer, ou cuivre avec anode en nickel : amorcer avec 5 volts et réduire	2
Platine	5 à 6

Densités de courant.

	AMPÈRES PAR dm^2
Cuivre bonne qualité, dépôt tenace	0,2 à 0,6
— clichés	0,6 à 1,5
— dépôt solide	1,5 à 4
— dépôt solide sablonneux sur les bords	4,0 à 6
— dépôt granuleux et sablonneux	8 15
— bain de cyanure	0,3 à 0,5
Zinc (raffinage)	0,3 à 0,5
Argent	0,15 à 0,5
Or	0,7 à 0,15
Laiton	0,4 à 0,5
Fer	0,15 à 0,45
Nickel, en commençant 1,5 ampère par dm^2, réduire ensuite	0,3

Digitized by Google

TABLEAU N° 19

POIDS SPÉCIFIQUES A 0°

(Poids spécifique de l'eau à + 4° = 1.)

Métaux

Acier de cémentation	7,26 à 7,80
— fondu	7,83 à 7,92
— puddlé	7,50 à 7,80
Aluminium fondu	2,56
— forgé	2,67
— bronze	7,70
Antimoine	6,65 à 6,72
Argent fondu	10,10 à 10,47
— forgé	10,51 à 10,62
Bismuth	9,83
Bronze	8,30 à 8,60
Cadmium laminé	8,69
Cuivre martelé	8,9
— laminé	8,8
— fondu	8,6
Étain	7,3 à 7,5
Fer forgé	7,6 à 7,79
Fonte de fer	7,0 à 7,50
Laiton fondu	7,8 à 8,4
— en fils	8,54
Maillechort	8,3 à 8,62
Mercure à 0°	13,590
Or	19 à 19,6
Platine	21 à 22
Plomb	11,40
Zinc fondu	6,80
— laminé	7,20

Corps solides

Albâtre	2,70
Ardoise	2,67
Bois séchés à l'air :	
Aulne	8,50
Bouleau	0,74
Buis	0,95

Digitized by Google

Chêne	0,69
Ébène noir	1,19
Érable	0,67
Frêne	0,67
Gaïac	1,21
Hêtre	0,73
Noyer	0,66
Peuplier	0,39
Pin	0,47
Pin rouge	0,65
Pommier	0,73
Sapin	0,56
Tilleul	0,56
Brique	1,40 à 2,20
Caoutchouc pur	0,73
— vulcanisé	1,25 à 1,75
Craie	2,20
Glace à 0°	0,92
Granit	2,80
Grès	2,35
Houille	1,21 à 1,51
Marbre	2,52 à 2,84
Pierre calcaire	2,44 à 2,50
Plâtre gâché sec	0,97
Sable ordinaire sec	1,64
Sel gemme	2,20
Verre : Cristal	2,89
Flint-glass	3.33
Glaces	2,46
Vitres	2,63

Corps liquides

Acide azotique concentré	1,500
— chlorhydrique concentré	1,200
Acide sulfurique concentré	1,850
Alcool absolu à 20°	0,792
Eau de mer	1,027
Éther à 20°	0,716
Huile de lin	0,950
— de navette	0,914
Sulfure de carbone	1,263

Digitized by Google

Corps gazeux

(Température 0°; air atmosphérique = 1.)

Acide carbonique	1,529
Ammoniaque	0,596
Azote	0,972
Chlore	2,570
Gaz d'éclairage	0,480 à 0,570
Hydrogène	0,0692
— bicarboné	0,978
— protocarboné	0,559
Oxyde de carbone	0,967
Oxygène	1,106
Vapeur d'eau	0,620
— à 100°	0,470

Digitized by Google

TABLEAU N° 20

POIDS DES FILS DE FER GALVANISÉS

NUMÉROS de la jauge française	DIAMÈTRE en millimètres	POIDS PAR MÈTRE en grammes
N° 1	0,6	1,90
2	0,7	2,25
3	0,8	3,90
4	0,9	4,85
5	1,0	5,72
6	1,1	7,30
7	1,2	8,80
8	1,3	10,25
9	1,4	12,25
10	1,5	13,50
11	1,6	16,20
12	1,8	19,80
13	2,0	24,00
14	2,2	29,00
15	2,4	35,00
16	2,7	43,50
17	3,0	53,75
18	3,4	72,50
19	3,9	94,00
20	4,4	118,25

TABLEAU N° 21

COMPOSITION DE QUELQUES ALLIAGES FUSIBLES

Le plomb peut être remplacé dans la fabrication des coupe-circuits par les alliages suivants, dont les propriétés ont été déterminées par M. Wiesbach.

Plomb	Étain	Bismuth	Point de fusion en degrés cent.
1	1	4	93,8
5	3	8	94,4
2	3	5	94,4
1	4	5	118,8
1	4	1	125
1	1	1	141,1
1	2	1	167,7
1	3	1	167,7
1	3	1	200

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

CHAPITRE PREMIER

PRINCIPES GÉNÉRAUX — DÉFINITIONS — UNITÉS — MESURES

Courant électrique.. 1
Loi de Ohm..... 4
Circuits dérivés..... 5
Résistance spécifique, Conductibilité..... 6
Loi de Joule..... 7
Travail, puissance d'un courant..... 8
Charge et capacité électriques..... 9
Unités électriques..... 9
Expression du travail électrique en kilogrammètres... 11
Unités diverses..... 12
Disposition d'un circuit..... 13

CHAPITRE II

PHÉNOMÈNES ET LOIS ÉLECTRIQUES

Magnétisme. Aimants : *Champ magnétique. Lignes de force*.... 18
Électro-magnétisme. Action des courants sur les aimants : *Système astatique*..... 20
Electro-dynamique. Lois d'Ampère..... 21
Solénoïdes..... 23
Aimantation par les courants : *Électro-aimants. Magnétisme rémanent. Hystérésis*..... 24

Digitized by Google

Induction. Lois de Faraday..... 27
Lois de Lenz..... 29
Courants induits d'ordres supérieurs : *Extra-courant*..... 30

Électrolyse.

Définitions. Principes généraux..... 31
Lois de Faraday : *Équivalent électro-chimique*..... 33
Théorie de Grotthus et de Faraday : *Actions secondaires*..... 34

CHAPITRE III

APPAREILS DE MESURE

Galvanomètres..... 37

Mesure de l'intensité.

Ampèremètre Deprez..... 38
Ampèremètre Deprez et Carpentier..... 38
Ampèremètre Richard..... 40
Ampèremètre-balance..... 41
Emploi des ampèremètres..... 41
Électro-dynamomètres..... 42

Mesure de la quantité.

Compteur Cauderay..... 44
Compteur Aron..... 46
Compteur Edison..... 47

Mesure des différences de potentiel.

Voltmètres..... 48
Voltmètre Deprez-Carpentier..... 48
Voltmètre Richard..... 49
Voltmètre-balance..... 49
Emploi des voltmètres..... 49
Problèmes divers..... 50

Digitized by Google

DEUXIÈME PARTIE

PRODUCTION DE L'ÉLECTRICITÉ

CHAPITRE PREMIER

PILES

Théorie de la pile : *Polarisation*..... 55
Pile Daniell..... 57
Pile Callaud..... 60
Pile O'Keenan..... 61
Pile Bunsen..... 62
Pile au bichromate de potasse : *Pile Grenet ou pile-bouteille*.... 64
Piles à oxydes. Pile Leclanché : 1° *Élément à vase poreux*; 2° *Élément à agglomérés*..... 65
Pile à oxyde de cuivre de MM. de Lalande et Chaperon..... 68

Accouplement des éléments de piles.

Tension. Quantité : *Exemples*..... 70
Accouplement mixte : *Exemples*..... 74
Choix des piles suivant leurs applications..... 79
Entretien des piles. Amalgamation des zincs..... 80

CHAPITRE II

MACHINES ÉLECTRIQUES

Théorie de l'anneau Gramme..... 83
Anneau, collecteur, balais..... 86
Lois des machines électriques..... 87
Différents modes d'excitation : 1° *Excitation indépendante*; 2° *Excitation en série*; 3° *Excitation en dérivation*; 4° *Excitation compound. Machines multipolaires*..... 88
Machines à courant continu, à courants alternatifs et à courants redressés : *Machines à électros mobiles*..... 93
Reversibilité des machines..... 93
Armature. Électros..... 94
Calage des balais..... 95
Rendement des machines..... 97

Digitized by Google

Description de quelques types de machines.
Machines à courant continu.

Dynamo Gramme : 1° *Type d'atelier* ; 2° *Machines à galvanoplastie* 99
Machine Siemens 102
Machine Edison 104
Machines Thury 105
Dynamos à pôles intérieurs Siemens et Halske 105
Dynamos Desroziers 107

Machines à courants redressés.

Dynamo Thomson-Houston 110

Machines à courants alternatifs ou alternateurs.

Théorie 115
Machine Siemens 117
Machine Gramme 117
Machine Ferranti 118
Alternateur Westinghouse 119
Excitation des inducteurs 120
Régulateur de courant, système Ganz 121
Courants alternatifs polyphasés 121
Dynamo à courants triphasés des ateliers d'Oerlikon 124

Accouplement des machines.

Dynamos à courant continu. Couplage en série 127
— — Couplage en quantité 129
Mise en marche et arrêt des machines 130
Machines excitées en dérivation et groupées en quantité 131
Accouplement des machines à courants alternatifs : *Indicateur de phases* 135

Montage des machines.

Moteurs 138
Entretien de la machine. Accidents 141
Balais 142
Collecteur 144
Armature 146
Court-circuit dans les bobines inductrices 147
Recherche des défauts d'isolement 147
Refus d'amorçage 149

Digitized by Google

Changement de polarité, redressement..... 150
Précautions à prendre..... 150
Recettes diverses. (*Vernis. Vernis pour la soie. Composition de Chatterton. Composition de Clark. Glu marine. Alliage de Darcet*..... 151

TROISIÈME PARTIE

TRANSFORMATION DES COURANTS ÉLECTRIQUES

CHAPITRE PREMIER

ACCUMULATEURS

Théorie. *Capacité. Puissance*..... 155
Accumulateur Planté..... 156
Accumulateur Reynier..... 159
Accumulateur de Montaud..... 161
Accumulateur Faure..... 162
Accumulateur Faure-Sellon-Volckmar ou E. P. S..... 162
Accumulateur Philippart..... 163
Accumulateur Julien..... 165
Accumulateur Gadot et Pisca..... 166
Accumulateurs au cuivre Commelin Desmazures et Bailhache... 166
Comparaison des différents systèmes..... 167

Emploi des accumulateurs.

Charge des accumulateurs..... 169
Disjoncteur automatique..... 171
Mise en marche et arrêt..... 173
Décharge..... 173
Entretien. *Électrolyte. Entretien des plaques*..... 174
Rendement..... 178
Récipients..... 180
Calculs sur les accumulateurs. *Exemples numériques*..... 180
Applications des accumulateurs..... 183

CHAPITRE II

TRANSFORMATEURS SECONDAIRES

Principe du transformateur : *Bobine de Ruhmkorff*..... 185
Transformateur Gaulard et Gibbs..... 187

Digitized by Google

Transformateur Zipernowski, Déri et Blathy..... 189
Rendement..... 190
Commutateur Swinburn..... 192
Précautions à prendre avec les transformateurs..... 193

QUATRIEME PARTIE

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

CHAPITRE PREMIER

ÉTUDE DES FOYERS LUMINEUX

Lampes à arc ou régulateurs.

Considérations théoriques..... 195
Charbons. *Diamètre des charbons*..... 196
Régulateur monophote : *Lampe Serrin*..... 198
Régulateurs à dérivation..... 199
Régulateur différentiel..... 200
Régulateur Siemens..... 201
Régulateur Bardon..... 202
Régulateur Cance..... 204

Bougie Jablochkoff.

Bougie. Colombin..... 207
Chandelier. *Chandelier de M. Clariot*..... 207
Constantes des bougies..... 210

Lampes à incandescence.

Considérations théoriques..... 211
Lampe Edison..... 212
Lampe Bernstein..... 214
Durée des lampes..... 215

CHAPITRE II

INSTALLATION DE LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE

Choix des lampes..... 218
Distribution de la lumière..... 219

Digitized by Google

Montage des régulateurs : 1° *En série*; 2° *En dérivation*; 3° *Montage mixte ou en séries multiples*..... 220
Montage des lampes à incandescence : *en dérivation, en boucle, en ceinture*..... 222
Montage à trois fils d'Edison..... 225
Distribution à trois fils par câbles équilibrés..... 226
Distribution à cinq fils..... 227
Distribution par feeders..... 229
Montage combiné de régulateurs et de lampes à incandescence : 1° *Montage en tension*; 2° *Montage en dérivation*..... 233
Montage des bougies Jablochkoff..... 233
Calcul des conducteurs..... 233
Table générale pour le calcul du diamètre des fils de cuivre... 236
1° *Exemple*..... 237
2° *Exemple* (*cas général*)..... 239
Calcul d'un rhéostat..... 241
Calcul de la résistance d'un conducteur..... 242
Calcul de la puissance motrice..... 242
Prix de revient de l'éclairage électrique. (1° *Premier établissement*; 2° *Entretien. Exemple*)..... 243

Appareils accessoires d'une distribution électrique.

Voltmètres. Ampèremètres. Compteurs d'électricité..... 245
Régulateurs de courant..... 247
Régulateurs automatiques..... 249
Résistances (*Calcul d'un rhéostat. Exemple*)..... 250
Indicateur de marche du courant..... 251
Parafoudres..... 252
Parafoudre automatique..... 253
Coupe-circuit de sûreté..... 255
Indicateur d'isolement à la terre pour courants alternatifs..... 258
Interrupteurs..... 260
Commutateurs..... 261
Tableaux de distribution..... 262
Mise en marche et arrêt des machines. *Lampes à incandescence. Lampes à arc, en série. Lampes à arc, en dérivation*..... 265
Essai des lampes à incandescence..... 267
Emploi des accumulateurs pour l'éclairage..... 269
Instructions générales pour l'exécution des installations électriques à l'intérieur des maisons..... 271
1° Qualités des matériaux..... 272
2° Conditions de pose..... 274

Digitized by Google

CHAPITRE III

DISTRIBUTION PAR STATIONS CENTRALES

Considérations générales..... 277

Distributions directes.

Distribution à différence de potentiel constante..... 279
Distribution à intensité constante..... 281

Distributions indirectes.

Emploi des accumulateurs dans les stations centrales..... 281
Emploi des transformateurs. *Distribution Siemens et Halske. Distribution Westinghouse*..... 284

Exemples de distribution par stations centrales.

Station électrique des Halles centrales..... 289
Station de l'avenue Trudaine..... 294
Usine de la Mauerstrasse à Berlin..... 298

CHAPITRE IV

CANALISATION

Canalisations aériennes.

Fils..... 300
Poteaux..... 301
Isolateurs. (*Isolateur Johnson Philips*)..... 302
Tension des fils : *Bronze phosphoreux, bronze silicieux*..... 304
Raccords : *Entonnoirs d'introduction*..... 306

Canalisation dans les habitations.

Pose des fils. *Pince universelle de M. O. May*..... 308

Canalisations souterraines.

Considérations générales..... 310
Système Edison, basses tensions..... 213
Canalisation Edison. Station de l'avenue Trudaine..... 314
Système Crompton, basse tension..... 316
Système de la Saint-James and Pall Mall Electric Lighting C°.. 317

Digitized by Google

Système de la Callender Bitumen Company..... 318
Système de l'Administration des Télégraphes..... 318
Système Delperdange..... 319
Système de la tension des Halles centrales..... 319
Système Siemens, hautes tensions..... 320
Système de la Cie House-to-House, hautes tensions..... 321
Câbles pour courants alternatifs. Modèle Ferranti..... 322
Câble Ménier concentrique pour courants alternatifs à haute tension..... 323
Prix d'une canalisation souterraine..... 324

Essais divers sur les canalisations.

Accidents aux conducteurs. (*Court-circuits. Terres*)..... 325
Localisation d'un défaut sur une ligne (*Procédé Eric-Gérard*) .. 327
Essai des isolateurs..... 329

CINQUIÈME PARTIE

TRANSMISSION ÉLECTRIQUE DE L'ÉNERGIE

CHAPITRE PREMIER

TRANSMISSIONS PAR COURANTS CONTINUS

Notions préliminaires..... 331
Force contre-électromotrice..... 332
Rendement..... 333
Influence de la distance..... 333
Hautes tensions..... 334
Résultats d'expériences..... 336
Prix de revient de la transmission électrique..... 338
Sens de rotation..... 341
Calage des balais. *Renversement de marche*..... 343
Vitesse du moteur : 1° *Vitesse variable*; 2° *Vitesse constante*..... 346
Moteurs électriques à courant continu..... 349
Moteur Rowan..... 350
Transmission de l'énergie par les stations centrales..... 351
Commandes électriques..... 352

CHAPITRE II

TRANSMISSIONS PAR COURANTS ALTERNATIFS

Moteurs à courants alternatifs..... 354

Digitized by Google

1° Moteurs à champ constant.... 354
2° Moteurs à champ alternatif.... 355
3° Moteurs à champ tournant.... 356
Moteur Brown.... 358
Distribution des courants alternatifs triphasés. Système Dobrowolsky.... 359
Exemples d'installation, transmission électrique à Cassel.... 360
Transmission Lauffen-Heilbronn.... 361
Expériences de Lauffen-Francfort.... 362
Comparaison des courants continus et des courants alternatifs. 363

CHAPITRE III

TRAMWAYS ÉLECTRIQUES

Considérations générales.... 366

Tramways par accumulateurs.

Considérations générales.... 367

1° *Tramways avec conducteurs souterrains.*

Disposition des conducteurs.... 369
Jonctions des rails.... 370
Caniveaux.... 372
Caniveau de Budapest.... 372
Système Thomson-Houston.... 373
Distribution du courant.... 375
Système Claret et Vuilleumier. (*Distributeur*).... 375

2° *Tramways avec conducteurs aériens.*

Disposition du circuit.... 381
Ligne aérienne. Isolateurs.... 381
Trolley.... 382
Archet Siemens.... 383
Navette.... 385
Disposition du moteur.... 385
Moteurs.... 386
Régulation de la vitesse. Contrôleur.... 387
Freins électriques.... 389
Puissance de traction.... 389
Choix du moteur à vapeur.... 390

Digitized by Google

Consommation de charbon..... 393
Tramways par chevaux. Prix du kilomètre-voiture..... 394
Courant..... 395

SIXIÈME PARTIE

SONNERIES ÉLECTRIQUES — SIGNAUX — TÉLÉPHONES INFLAMMATION DES TORPILLES ET DES MINES

CHAPITRE PREMIER

SONNERIES ÉLECTRIQUES

Sonnerie trembleuse..... 397
Sonnerie à relai..... 398
Sonnerie polarisée..... 399
Sonnerie à un coup..... 399
Sonneries pour signaux..... 399
Sonneries électro-magnétiques. — Inducteur Siemens..... 400

Installation des sonneries.

1° Installation d'une sonnerie sur un ou plusieurs appels..... 402
2° Installation de plusieurs sonneries fonctionnant sur un seul appel..... 403
3° Installation de plusieurs sonneries distinctes commandées d'un même point..... 404
4° Installation de sonneries pour demande et réponse..... 404
Installation de sonneries avec tableau indicateur..... 407
Installation avec deux tableaux indicateurs distincts marchant ensemble..... 410
Installation avec tableaux indicateurs et tableaux répétiteurs... 411
Intercommunication des trains..... 413
Détails d'installation. *Piles. Fils conducteurs. Recherche d'un défaut*..... 417

CHAPITRE II

TÉLÉPHONE

Théorie..... 421
Téléphone magnétique..... 422
Téléphone de Bell..... 422
Téléphone Ader..... 423

Digitized by Google

Téléphones à piles. — Microphones 424
Microphone de Hughes 424
Microphone Edison 425
Transmetteur Ader 426
Poste téléphonique Ader. *Fonctionnement. Dérangements* 427
Installation d'un poste téléphonique. *Piles, sonneries. Bobines d'induction* 432
Bureau central. (*Indicateur à lapin. — Jack-Knife*) 433
Distances téléphoniques maxima 438
Lignes 438
Induction dans les lignes 439
Installations téléphoniques privées 442
1° *Installation avec poste central* 443
2° *Installation avec postes embrochés* 444

CHAPITRE III

INFLAMMATION DES TORPILLES ET DES MINES

Amorces d'induction ou à étincelle 447
Amorces à fil 447
Constantes des amorces 449
Chapelet électrique : *calcul d'une pile pour un chapelet* 450
Inflammation des mines — *Coup de poing Bréguet* 453
Exploseur Manet 455

SEPTIÈME PARTIE

GALVANOPLASTIE

CHAPITRE PREMIER

Considérations générales 457

Dorure et argenture.

Préparation des objets à dorer et à argenter 459
1° *Décapage* 459
2° *Dérochage* 459
3° *Ponçage* 460
Dorure 460
1° *A froid* 461
2° *A chaud* 461
3° *Procédé Watt* 462
Argenture 463

Digitized by Google

Procédés Watt..... 463
Procédé Roseleur..... 464
Procédé Bouilhet..... 465
Manière de procéder..... 465
Argenture du fer, de la fonte, de l'acier..... 467

Nickelage.

Préparation des objets à nickeler..... 467
Bains de nickel..... 469
1° *Bain de Roseleur*..... 469
2° *Formule d'Adams*..... 469
3° *Bain de Boden*..... 470
4° *Bains de Veston*..... 470
5° *Formule de Powel*..... 470
Nickelage à épaisseur..... 470
Nickelage des rouleaux d'impression..... 471
Manière de procéder..... 472
Dépôt de cobalt..... 473
Dépôt d'antimoine..... 475
Étamage..... 475
Zingage..... 476

Cuivrage et Laitonage.

Cuivrage à faible épaisseur..... 476
Cuivrage du zinc..... 477
Cuivrage du fer et de l'acier..... 478
Laitonage du zinc..... 478
Laitonage de fer, fonte, acier. *Précautions à prendre*..... 479
Cuivrage à forte épaisseur du fer et de la fonte..... 479
1° *Procédé Oudry*..... 480
2° *Cuivrage adhérent du fer et de la fonte*..... 481
Procédé Weill..... 481
Procédé Gauduin..... 481
Modelage par galvanoplastie..... 482
Reproduction des planches de gravure..... 483
Auges à galvanoplastie..... 485
Production de l'électricité..... 485
Pile simple..... 485
Appareils producteurs de l'électricité..... 486
Précautions à prendre..... 488
Groupement des bains. (*Série, dérivation, combinaison mixte*) 489
Conducteurs..... 491
Anodes..... 493

Digitized by Google

CHAPITRE II

ÉLECTRO-MÉTALLURGIE

1° Électro-métallurgie par voie humide..... 495
Raffinage du cuivre. — Expériences de M. Gramme..... 496
Raffinage du plomb..... 498
2° Électro-métallurgie par voie sèche..... 499
Four Moissan. Production du carbure de calcium..... 499
Fabrication de l'aluminium. (Procédés Kleiner, Minet)..... 500

APPENDICE

Tableau 1. Liste des corps suivant leur conductibilité..... 503
— 2. Table de conductibilité des métaux..... 503
— 3. Résistances des métaux..... 504
— 4. Poids. — Résistances des fils de cuivre..... 505
— 5. Sections et prix des conducteurs isolés..... 507
— — (isolement ordinaire)..... 507
— 6. — (isolements forts et très forts).. 507
— 7. Câbles, sections et résistances..... 508
— 8. Résistances électriques de quelques alliages.... 509
— 9. Résistances spécifiques de différentes solutions salines..... 509
— 10. Résistances des fils de ferro-nickel pour rhéostats 509
— 11. Consommation du gaz de différents becs..... 510
— 12. Prix comparés de divers systèmes d'éclairage . 510
— 13. Prix de revient du cheval-heure pour les petits moteurs..... 511
— 14. Pouvoirs calorifiques des combustibles..... 512
— 15. Équivalents chimiques et électro-chimiques..... 513
— 16. Chaleurs dégagées par la formation des combinaisons chimiques..... 514
— 17. Chaleurs dégagées par la formation des sels... 520
— 18. Poids des métaux déposés par électrolyse..... 522
— 19. Poids spécifiques..... 523
20. Poids des fils de fer galvanisés..... 526
— 21. Composition de quelques alliages fusibles..... 526

MACON, PROTAT FRÈRES, IMPRIMEURS.

Digitized by Google

CATALOGUE DE LIVRES

SUR

L'ÉLECTRICITÉ ET LES MACHINES

PUBLIÉS PAR

LA LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, BAUDRY ET Cie

15, RUE DES SAINTS-PÈRES, A PARIS

Le Catalogue complet est envoyé franco sur demande.

ÉLECTRICITÉ

Traité d'électricité et de magnétisme.

Traité d'électricité et de magnétisme. Théorie et applications, instruments et méthodes de mesure électrique. Cours professé à l'école supérieure de télégraphie, par A. VASCHY, ingénieur des télégraphes, examinateur d'entrée à l'Ecole Polytechnique. 2 volumes in-8° avec de nombreuses figures dans le texte..... 25 fr.

Théorie de l'électricité.

Théorie de l'électricité. Exposé des phénomènes électriques et magnétiques fondé uniquement sur l'expérience et le raisonnement par A. VASCHY, ingénieur des télégraphes, examinateur d'admission à l'Ecole Polytechnique. 1 volume grand in-8°, avec 74 figures dans le texte, relié..... 20 fr.

Traité pratique d'électricité.

Traité pratique d'électricité à l'usage des ingénieurs et constructeurs. Théorie mécanique du magnétisme et de l'électricité, mesures électriques, piles, accumulateurs et machines électrostatiques, machines dynamo-électriques génératrices, transport, distribution et transformation de l'énergie électrique, utilisation de l'énergie électrique, par FÉLIX LUCAS, ingénieur en chef des ponts et chaussées, administrateur des chemins de fer de l'Etat. 1 volume grand in-8°, avec 278 figures dans le texte..... 15 fr.

Digitized by Google

Électricité industrielle.

Traité d'électricité industrielle, théorique et pratique, par MARCEL DEPREZ, membre de l'Institut, professeur d'électricité industrielle au Conservatoire national des arts et métiers, professeur suppléant au Collège de France. 2 volumes grand in-8°, avec de nombreuses figures dans le texte, paraissant en 4 fascicules. Prix de souscription à l'ouvrage complet..... 40 fr.
Chaque fascicule se vend séparément..... 12 fr.

Électricité industrielle.

Traité pratique d'électricité industrielle. Unités et mesures ; piles et machines électriques ; éclairage électrique ; transmission électrique de l'énergie ; galvanoplastie et électro-métallurgie ; téléphonie, par E. CADIAT et L. DUBOST. 5e édition. 1 volume grand in-8°, avec 277 gravures dans le texte, relié..... 16 fr. 50

Manuel pratique de l'électricien.

Manuel pratique de l'électricien. Guide pour le montage et l'entretien des installations électriques, par E. CADIAT. 3e édition. 1 volume in-12, avec 229 figures dans le texte, relié..... 7 fr. 50

Aide-mémoire de poche de l'électricien.

Aide-mémoire de poche de l'électricien ; guide pratique à l'usage des ingénieurs, monteurs, amateurs électriciens, etc., par PH. PICARD et A. DAVID, ingénieur des arts et manufactures. 1 petit volume, format oblong de $0^m,125 \times 0^m,08$, relié en maroquin, tranches dorées..... 5 fr.

Contrôle des installations électriques.

Contrôle des installations électriques au point de vue de la sécurité. Le courant électrique, production et distribution de l'énergie, mesures, effets dangereux des courants, contrôle à l'usine, contrôle du réseau, des installations intérieures et des installations spéciales, résultats d'exploitation, règlements français et étrangers, par A. MONMERQUÉ, ingénieur en chef des ponts et chaussées, ancien ingénieur des services de la première section des travaux de Paris et du secteur municipal d'électricité, précédé d'une préface de M. HIPPOLYTE FONTAINE, président honoraire de la chambre syndicale des électriciens. 1 volume in-8°, avec de nombreuses figures dans le texte, relié..... 10 fr.

L'Année électrique.

L'Année électrique, ou Exposé annuel des travaux scientifiques, des inventions et des principales applications de l'électricité à l'industrie et aux arts, par PH. DELAHAYE. 8 volumes in-12 (1885 à 1892) : Prix de chaque volume..... 3 fr. 50

Pile électrique.

Traité élémentaire de la pile électrique, par ALFRED NIAUDET. 3e édition revue par HIPPOLYTE FONTAINE et suivie d'une notice sur les accumulateurs, par E. HOSPITALIER. 1 volume grand in-8°, avec gravures dans le texte..... 7 fr. 50

Digitized by Google

Électrolyse.

Électrolyse; renseignements pratiques sur le nickelage, le cuivrage, la dorure, l'argenture, l'affinage des métaux et le traitement des minerais au moyen de l'électricité, par HIPPOLYTE FONTAINE. 2e édition. 1 volume grand in-8°, avec gravures dans le texte, relié. 15 fr.

Électrolyse.

Étude sur le raffinage électrolytique du cuivre noir, par HUGON. 1 brochure grand in-8°..... 1 fr. 50

Machines dynamo-électriques.

Traité théorique et pratique des machines dynamo-électriques, par R.-V. PICOU, ingénieur des arts et manufactures. 1 volume grand in-8°, avec 198 figures dans le texte..... 12 fr. 50

Moteurs électriques à champ magnétique tournant.

Les moteurs électriques à champ magnétique tournant, par R.-V. PICOU. *Supplément au Traité des machines dynamo-électriques du même auteur.* 1 brochure grand in-8°, avec figures dans le texte. 1 fr. 50

Machines dynamo-électriques.

Traité théorique et pratique des machines dynamo-électriques, par SYLVANUS THOMPSON, traduit par E. BOISTEL. 2e édition. 1 volume grand in-8°, avec 558 gravures dans le texte. Relié. 30 fr.

Machines dynamo-électriques.

La machine dynamo-électrique, par FRŒLICH, traduit de l'allemand, par E. BOISTEL. 1 volume grand in-8°, avec 62 figures dans le texte..... 10 fr.

Éclairage électrique.

Éclairage électrique de l'Exposition universelle de 1889. Monographie des travaux exécutés par le syndicat international des électriciens, par HIPPOLYTE FONTAINE. 1 volume grand in-4°, avec 29 planches tirées à part et 32 gravures dans le texte, relié. 25 fr.

Éclairage électrique.

Manuel pratique d'éclairage électrique pour installations particulières, maisons d'habitations, usines, salles de réunion, etc., par EMILE CAHEN, ingénieur des ateliers de construction des manufactures de l'Etat. 2e édition. 1 volume in-12, avec de nombreuses figures dans le texte. Prix relié..... 7 fr. 50

Éclairage électrique.

N. B. — Les mémoires ci-dessous ont paru dans le *Portefeuille des machines* et se vendent, avec la livraison qui les renferme, au prix de 2 fr. la livraison.

Digitized by Google

Locomobile électrique de Gramme destinée à l'éclairage à distance pour la défense des places, avec 1 planche. Livraison de juillet 1878..... 2 fr.

Eclairage électrique de la Gran Plaza de Toros du Bois de Boulogne à Paris, avec 1 planche. Livraison de mars 1891..... 2 fr.

Usine municipale d'électricité des Halles centrales à Paris, avec 3 planches. Livraison de juillet et d'août 1891..... 4 fr.

Eclairage électrique de Saint-Pancras, station de Regent's Park, à Londres, avec 1 planche. Livraison de septembre 1892... 2 fr.

Eclairage électrique de l'Avenue de l'Opéra. Livraison de février 1897..... 2 fr.

Éclairage électrique.

Étude pratique sur l'éclairage électrique des gares de chemins de fer, ports, usines, chantiers et établissements industriels, par GEORGES DUMONT, avec la collaboration de GUSTAVE BAIGNIÈRES. 1 vol. grand in-8°, avec 2 planches..... 5 fr.

Éclairage à Paris.

L'éclairage à Paris. Etude technique des divers modes d'éclairage employés à Paris sur la voie publique, dans les promenades et jardins, dans les monuments, les gares, les théâtres, les grands magasins, etc., et dans les maisons particulières. — Gaz, électricité, pétrole, huile, etc.; usines et stations centrales, canalisations et appareils d'éclairage; organisation administrative et commerciale, rapport des compagnies avec la ville; traités et conventions; calcul de l'éclairement des voies publiques; prix de revient, par HENRI MARÉCHAL, ingénieur des ponts et chaussées et du service municipal de la ville de Paris. 1 volume grand in-8°, avec 221 figures dans le texte, relié..... 20 fr.

Électricité.

Manuel élémentaire d'électricité, par FLEEMING JENKIN, professeur à l'Université d'Edimbourg; traduit de l'anglais par N. DE TÉDESCO. 1 volume in-12, avec 32 gravures..... 2 fr.

Courants polyphasés.

Courants polyphasés et alterno-moteurs. Théorie, construction, mode de fonctionnement et qualités des générateurs et des moteurs à courants alternatifs et polyphasés, transformateurs polyphasés et mesure de la puissance dans les systèmes polyphasés, par SILVANUS P. THOMPSON, directeur du collège technique de Finsbury, à Londres, traduction par E. BOISTEL, ingénieur-expert près le tribunal de la Seine. 1 vol. grand in-8°, avec 173 figures dans le texte, relié..... 16 fr.

Courants triphasés.

Applications et avantages des machines électriques à courants triphasés. Ce mémoire a paru dans la livraison de décembre 1895 du *Portefeuille des machines*. Prix de la livraison..... 2 fr.

Digitized by Google

Courants alternatifs d'électricité.

Les courants alternatifs d'électricité, par T. H. BLAKESLEY, professeur au Royal Naval Collège de Greenwich, traduit de la 2e édition anglaise et augmenté d'un appendice, par W. C. RECHNIEWSKI. 1 volume in-12 avec figures dans le texte, relié..... 7 fr. 50

Transformateurs.

Les transformateurs à courants alternatifs simples et polyphasés. Théorie, construction, applications, par GISBERT KAPP, traduit de l'allemand par A. O. DUBSKY et G. CHENET, ingénieurs électriciens. 1 volume in-8°, avec 132 figures dans le texte, relié..... 12 fr.

Problèmes sur l'électricité.

Problèmes sur l'électricité. Recueil gradué comprenant toutes les parties de la science électrique, par le Dr ROBERT WEBER, professeur à l'Académie de Neuchâtel. 2e édition. 1 volume in-12, avec figures dans le texte..... 6 fr.

Installations électriques.

Installations électriques d'éclairage et de transport d'énergie. Commentaires sur les mesures de précaution prescrites par l'Union des Compagnies allemandes d'Assurance contre l'incendie, par le Dr OSCAR MAY, traduit de l'allemand sous la direction de PH. DELAHAYE. 1 brochure grand in-8°, avec 13 figures dans le texte. 1 fr. 50

Accumulateur voltaïque.

Traité élémentaire de l'accumulateur voltaïque, par EMILE REYNIER. 1 volume grand in-8°, avec 62 gravures dans le texte et un portrait de M. Gaston Planté.. ..... 6 fr.

Voltamètres-régulateurs.

Les voltamètres-régulateurs zinc-plomb. Renseignements pratiques sur l'emploi de ces appareils, leur combinaison avec les dynamos et les circuits d'éclairage, par EMILE RÉYNIER. 1 brochure in-8°, avec gravures et schémas d'installation..... 1 fr. 25

Téléphone.

Le Téléphone, par WILLIAM-HENRI PREECE, électricien en chef du *British Post-Office*, et JULIUS MAIER, docteur ès sciences physiques. 1 volume grand in-8°, avec 290 gravures dans le texte. 15 fr.

Télégraphie électrique.

Traité de télégraphie électrique. — Production du courant électrique. — Organes de réception. — Premiers appareils. — Appareil Morse. — Appareils accessoires. — Installation des postes. — Propriétés électriques des lignes. — Lois de la propagation du courant. — Essais électriques, recherches des dérangements. — Appareils de

Digitized by Google

translation, de décharge et de compensation. — Description des principaux appareils et des différents systèmes de transmission. — Établissement des lignes aériennes, souterraines et sous-marines, par H. THOMAS, ingénieur des télégraphes. 1 volume grand in-8°, avec 702 figures dans le texte. Relié.. .... 25 fr.

Télégraphie sous-marine.

Traité de télégraphie sous-marine. — Historique. — Composition et fabrication des câbles télégraphiques. — Immersion et réparation des câbles sous-marins. — Essais électriques. — Recherche des défauts. — Transmission des signaux. — Exploitation des lignes sous-marines, par WUNSCHENDORFF, ingénieur des télégraphes. 1 volume grand in-8°, avec 469 gravures dans le texte..... 40 fr.

Télégraphie pneumatique.

Télégraphie pneumatique. Installation de la Bourse de Paris, avec 2 planches. Ce mémoire a paru dans la livraison d'avril 1877 du *Portefeuille des machines*. Prix de la livraison..... 2 fr.

Tirage des mines par l'électricité.

Le tirage des mines par l'électricité, par PAUL-F. CHALON, ingénieur des arts et manufactures. 1 volume in-18 jésus, avec 90 figures dans le texte. Prix, relié..... 7 fr. 50

MÉCANIQUE ET MACHINES

Portefeuille des machines.

Portefeuille économique des machines, de l'outillage et du matériel, relatifs à la construction, à l'industrie, aux chemins de fer, aux routes, aux mines, à la navigation, à l'électricité, etc.; contenant un choix des objets les plus intéressants des expositions industrielles fondé par OPPERMANN. 12 livraisons par an formant un beau volume de 50 à 60 planches et 200 colonnes de texte. Abonnements : Paris, 15 fr. — Départements et Belgique, 18 fr. — Union postale..... .... 20 fr.

Prix de l'année parue, reliée..... 20 fr.

La 3e série a commencé à paraître en 1876.

Table des matières des années 1876 à 1887..... 0 fr. 50

Agenda Oppermann.

Agenda Oppermann, paraissant chaque année. Élégant carnet de poche contenant tous les chiffres et les renseignements techniques d'un usage journalier. Rapporteur d'angles, coupe géologique du globe terrestre, guide du métreur. — Résumé de géodésie. — Poids et mesures, monnaies françaises et étrangères. — Renseignements mathématiques et géométriques. — Renseignements physiques et chimiques. — Résistance des matériaux. — Electricité. — Règlements administratifs. — Dimensions du commerce. — Prix courants et série de prix. — Tarif des Postes et Télégraphes.

Relié en toile, 3 fr.; en cuir, 5 fr. — Pour l'envoi par la poste, 25 c. en plus.

Digitized by Google

Aide-mémoire de l'ingénieur.

Aide-mémoire de l'ingénieur. Mathématiques, mécanique, physique et chimie, résistance des matériaux, statique des constructions, éléments des machines, machines motrices, constructions navales, chemins de fer, machines-outils, machines élévatoires, technologie, métallurgie du fer, constructions civiles, législation industrielle. Troisième édition française du Manuel de la Société « Hütte », par PHILIPPE HUGUENIN. 1 beau volume contenant plus de 1200 pages, avec 500 figures dans le texte, solidement relié en maroquin..... 15 fr.

Mécanique générale.

Mécanique générale. Cours professé à l'Ecole centrale des Arts et Manufactures, par A. FLAMANT, ingénieur en chef des ponts et chaussées, professeur à l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées et à l'Ecole centrale. 1 volume grand in-8°, avec 203 figures dans le texte..... 20 fr.

Mécanique appliquée.

Cours élémentaire de mécanique appliquée, à l'usage des écoles primaires supérieures, des écoles professionnelles, des écoles d'apprentissage, des écoles industrielles, des cours techniques et des ouvriers, par BOCQUET, ingénieur, directeur de l'Ecole Diderot. 3e édition. 1 volume in-12, avec 69 figures dans le texte, relié..... 5 fr.

Guide de mécanique pratique.

L'ouvrier mécanicien. Guide de mécanique pratique, par ARMENGAUD jeune. 1 volume in-12 avec 4 planches, relié..... 5 fr.

Travail manuel.

Notions sur les machines et travail manuel du fer et du bois, à l'usage des Ecoles primaires supérieures, des Ecoles d'apprentissage, des Ecoles professionnelles, des Ecoles industrielles et des candidats aux Ecoles d'arts et métiers, et à l'Ecole des apprentis-mécaniciens de la marine à Brest, par HENRI LYONNET, professeur à l'Ecole supérieure municipale J.-B. Say. 1 volume in-12, avec 90 figures dans le texte..... 2 fr.

Physique.

Physique, par GARIEL, ingénieur en chef des ponts et chaussées, professeur de physique à la Faculté de médecine et à l'Ecole nationale des ponts et chaussées. 2 volumes grand in-8°, avec de nombreuses gravures dans le texte..... 20 fr.

Air comprimé.

Traité élémentaire de l'air comprimé, par JOSEPH COSTA, ingénieur civil, ancien élève de l'Ecole polytechnique. 1 volume grand in-8°, avec 20 gravures dans le texte..... 5 fr.

Digitized by Google

Traité des chaudières à vapeur.

Traité des chaudières à vapeur. Etude sur la vaporisation dans les appareils industriels, par CHARLES BELLENS, ingénieur. 1 volume grand in-8°, avec 215 figures dans le texte..... 20 fr.

Chaudières à vapeur.

Traité pratique des chaudières à vapeur employées dans les manufactures, par DENFER, chef de travaux graphiques à l'Ecole centrale des arts et manufactures. 1 volume grand in-4°, accompagné de 81 planches cotées et en couleur..... 50 fr.

Chaudières marines.

Traité pratique des chaudières marines; description, entretien, conduite, à l'usage des mécaniciens de la marine militaire, de la marine de commerce et de l'industrie, par J.-B. GIRARD, mécanicien inspecteur de la marine, ancien professeur à l'Ecole des mécaniciens de Toulon. 1 volume in-8°, avec de nombreuses figures dans le texte et 20 planches, relié..... 12 fr. 50

Manuel du chauffeur-mécanicien.

Manuel du chauffeur-mécanicien et du propriétaire d'appareils à vapeur, par HENRI MATHIEU, contrôleur des mines, inspecteur des appareils à vapeur de la Seine, professeur au syndicat général des chauffeurs-mécaniciens. 1 volume grand in-8°, avec 409 figures dans le texte..... 16 fr.

L'A B C du chauffeur.

L'A B C du chauffeur, par HENRI MATHIEU, contrôleur des mines, officier de l'instruction publique, avec une introduction par C. WALCKENAER, ingénieur des mines. 1 vol. format $0^m,15 \times 0^m,10$. avec 66 figures dans le texte, relié..... 3 fr.

Construction des machines à vapeur.

Traité pratique de la construction des machines à vapeur fixes et marines. Résumé des connaissances actuellement acquises sur les machines à vapeur, considérations relatives au type de machine et aux proportions à adopter, détermination des dimensions et des proportions des principaux organes, étude et construction de ces organes, par MAURICE DEMOULIN, ingénieur des arts et manufactures. 1 volume grand in-8°, avec 483 figures dans le texte. Relié. 20 fr.

La Machine à vapeur.

La machine à vapeur. Traité général contenant la théorie du travail de la vapeur, l'examen des mécanismes de distribution et de régularisation, la description des principaux types d'appareils, l'étude de la condensation et de la production de la vapeur, par EDOUARD SAUVAGE, professeur à l'Ecole nationale supérieure des mines. 2 volumes grand in-8°, avec 1 036 figures dans le texte. 60 fr.

Digitized by Google

Traité de la machine à vapeur.

Traité de la machine à vapeur. Description des principaux types et théorie; étude, construction, conduite et applications, par ROBERT H. THURSTON, directeur du « Sibley College » Cornell University, ancien président de « l'American Society of Mechanical Engineers », traduit de l'anglais et annoté par MAURICE DEMOULIN. 2 volumes grand in-8°, avec de nombreuses figures dans le texte. Relié..... 60 fr.

Essais de machines et chaudières à vapeur.

Manuel pratique des essais de machines et chaudières à vapeur, par ROBERT H. THURSTON, directeur du « Sible College » Cornell University, ancien président de « l'American Society of Mechanical Engineers », ancien ingénieur de la marine aux Etats-Unis, traduit de l'anglais par AUGUSTE ROUSSEL, ancien élève de l'Ecole polytechnique et de l'Ecole nationale supérieure des mines. 1 volume grand in-8°, avec de nombreuses figures dans le texte. Relié. 25 fr.

Roues et turbines à vapeur.

Roues et turbines à vapeur, par K. SOSNAWSKI, ingénieur civil. 1 volume grand in-8°, avec 302 figures dans le texte..... 10 fr.

Indicateur des machines.

L'indicateur du travail et du fonctionnement des machines à piston à vapeur, à eau, à gaz, etc., et son diagramme, par VON PICHLER, traduit par R. SEGUELA, ancien élève de l'Ecole polytechnique, inspecteur au chemin de fer du Nord. 1 volume in-8°, 46 figures dans le texte..... 5 fr.

Traité des machines-outils.

Traité des machines-outils. Tours, alésoirs, raboteuses, mortaiseuses, étaux-limeurs, raineuses, fraiseuses, machines à tailler les roues, meules, taraudeuses, machines à vis, machines spéciales, machines combinées, petit outillage, par GUSTAVE RICHARD, ingénieur civil des mines, membre honoraire du Conseil et agent général de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale. 2 volumes grand in-4°, avec plus de 6 000 figuresdans le texte. Relié..... 150 fr.

Arquebuserie.

Traité d'arquebuserie. Principes de la construction des armes de chasse; canonnerie des armes de chasse; les armes à chiens intérieurs, les armes de tir; les cartouches; les poudres; les projectiles; annexes, par ARTHUR NOUVELLE. 1 volume grand in-8° et atlas de 38 planches..... 20 fr.

Digitized by Google

Digitized by Google

Z.50 Aa

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

8908972308 4
B89089723084A

Digitized by Google

Digitized by Google

b89089723084
b89089723084a

Digitized by Google